GUIDE DU GESTIONNAIRE

COMMERCE

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE dans les ÉDIFICES À BUREAUX et les bâtiments commerciaux

Québec

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE dans les ÉDIFICES À BUREAUX et les bâtiments commerciaux

Guide du gestionnaire

90-04350/

TRADUCTION
Monsieur André Catafago, ministère des Communications

RÉVISION ET ADAPTATION
Monsieur Robert J. Thibault, ingénieur,
Monsieur Bernard Murtada, économiste,
Monsieur Gilles Ménard, architecte, Bureau de l'efficacité énergétique.

ÉDITION
Madame Térèse Masson

MISE EN GARDE

Le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec et le ministère de l'Énergie de l'Ontario déclinent toute responsabilité résultant des dommages causés par l'application de quelque mesure que ce soit, expliquée dans le présent manuel, alors que cette mesure n'est pas adaptée à un contexte, une installation et style de gestion ultérieure donnés.

© Gouvernement du Québec - 1989

Dépôt légal - 3e trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec

ISBN 2-550-20021-7

REMERCIEMENTS

Le présent guide, destiné aux gestionnaires d'édifices à bureaux et de centres hotelliers a été traduit en français et adapté au contexte québécois à partir du document original **Energy Management for Building and Facilities: Energy Efficiency Opportunies**, une réalisation du ministère de l'Énergie de l'Ontario.

Ce document est diffusé dans le cadre du programme FORUM Énergie Centre-Ville.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

1.0 LA GESTION DE L'ÉNERGIE

1.1	Introduction	1
1.2	Le processus de la gestion énergétique	1
1.3	Les étapes de la gestion énergétique	3
1.4	La comptabilité énergétique	7
1.5	Indices de consommation énergétique	11
1.6	Relevé et bilan de consommation	13
1.7	L'assistance technique à la gestion de l'énergie	17
1.8	Financement des programmes de gestion énergétique	18
1.9	Évaluation des mesures de gestion énergétique	19
1.10	Liste de contrôle	19

2.0 L'ENVELOPPE DU BATIMENT

2.1	Introduction	23
2.2	Déperditions thermiques à travers l'enveloppe	23
2.3	Amélioration de l'enveloppe	26
2.4	L'étanchéité à l'air	27
2.5	Isolation	30
2.6	Liste de contrôle	32

3.0 EXPLOITATION ET ENTRETIEN

3.1	Introduction	37
3.2	Contrôles et tableaux de marche	38
3.3	Entretien et fonctionnement du système de chauffage	40
3.4	Fonctionnement et entretien du système de refroidissement	43
3.5	Fonctionnement et entretien du système de ventilation	46
3.6	Traitement de l'eau employée dans les systèmes de chauffage, ventilation et conditionnement d'air	48
3.7	Fonctionnement et entretien du système d'éclairage	50

4.0 SYSTEMES DE CHAUFFAGE

4.1	Introduction	51
4.2	Rendement	52
4.3	Brûleurs	54
4.4	Installations de production d'eau chaude	58
4.5	Installations de production de vapeur	61
4.6	Systèmes de distribution d'eau chaude	64
4.7	Systèmes de distribution de vapeur	67
4.8	Systèmes à air pulsé	70

5.0 EAU CHAUDE A USAGE DOMESTIQUE

5.1	Introduction	71
5.2	Mesures destinées à économiser l'énergie	72

6.0 SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT ET POMPES A CHALEUR

6.1	Introduction	75
6.2	Refroidissement par détente directe	75

	6.3	Refroidissement par eau froide	78
	6.4	Pompes à chaleur	81
7.0	SYSTEMES DE TRAITEMENT DE L'AIR		
	7.1	Introduction	83
	7.2	Mesures générales	84
	7.3	Systèmes à distribution	86
	7.4	Systèmes à évacuation	92
	7.5	Appareils de récupération de chaleur	96
8.0	QUALITÉ DE L'AIR		
	8.1	Introduction	99
	8.2	La question de la qualité de l'air	99
	8.3	Critères et normes	101
	8.4	Les composants de la qualité de l'air	104
	8.5	Diagnostic et solution des problèmes	109
	8.6	Stratégies de contrôle	112
	8.7	Liste de contrôle	114
9.0	ÉCLAIRAGE		
	9.1	Introduction	117
	9.2	Types d'éclairage	118
	9.3	Analyse des systèmes d'éclairage existants	119
	9.4	Effets de l'éclairage sur le chauffage et la climatisation	120
	9.5	Allumage et extinction des lampes	120
	9.6	Gestion énergétique de l'éclairage	121
10.0	AUTOMATISATION		
	10.1	Introduction	125
	10.2	La fonction commande	126
	10.3	Applications des systèmes de commande automatique	128
	10.4	Types de systèmes de commande automatique	130
	10.5	Choix d'un système de commande automatique	132
ANNEXES			
1.		Unités de mesure de l'énergie	133
2.		Mesure des consommations	135
3.		Bibliographie	137

Introduction

Au cours des dix dernières années, la gestion de l'énergie est devenue une science dont la connaissance s'est généralisée. De plus, cette décennie a vu se développer des mesures, des technologies et des approches analytiques nouvelles, nous permettant de mieux comprendre ce qu'est la gestion de l'énergie. Alors que l'on y voyait autrefois une activité d'appoint, on sait aujourd'hui que c'est une partie essentielle et permanente de la gestion des bâtiments.

Nous comprenons également mieux la relation qui existe entre la gestion de l'énergie et les fluctuations de prix des combustibles. En période de pénurie et d'escalade des prix, la gestion de l'énergie est de toute évidence nécessaire. Mais nous savons aujourd'hui, grâce aux études détaillées, que l'on peut faire des économies d'énergie supplémentaires même lorsque les prix sont à la baisse. En outre, la prévision à long terme de l'offre et des prix énergétiques montre qu'il est sage de réduire autant que possible la consommation pendant que les prix sont relativement bas.

Le présent guide est destiné aux gestionnaires et aux responsables de l'exploitation des bâtiments à usage commercial. Le lecteur y trouvera un aperçu des techniques actuelles de la gestion énergétique et des possibilités que leur application offre sur le plan des économies d'énergie.

Ce guide n'est pas un ouvrage élémentaire sur la gestion de l'énergie. Au contraire, on y suppose que le lecteur possède déjà de bonnes notions sur l'enveloppe des bâtiments et sur l'équipement mécanique, tout au moins en ce qui concerne leurs rapports avec la gestion de l'énergie.

Le premier chapitre donne un aperçu général de la gestion énergétique telle qu'elle se présente à l'heure actuelle. Les chapitres suivants traitent des divers éléments qui entrent en jeu dans la gestion de l'énergie: enveloppe du bâtiment, exploitation et entretien des bâtiments, systèmes de chauffage, de refroidissement et de ventilation, etc. Chaque chapitre fait un examen concis des questions pertinentes et donne une liste de contrôle des économies réalisables par l'application des méthodes actuelles de gestion énergétique. Un chapitre distinct est consacré à la qualité de l'air et à ses rapports avec la gestion énergétique, questions auxquelles on s'intéresse beaucoup depuis quelque temps. Les annexes donnent certains renseignements de base ainsi qu'une bibliographie.

1.0
La Gestion de l'Énergie

1.0 LA GESTION DE L'ÉNERGIE

1.1 Introduction

Au départ, le concept de l'énergie consistait à appliquer de façon passagère les principes d'économie à l'enveloppe des bâtiments et à leurs systèmes mécaniques. Il s'agissait d'une chose que l'on faisait une fois et dont on ne s'occupait plus par la suite. L'expérience nous a enseigné que des économies plus importantes et plus durables peuvent être réalisées lorsque la gestion de l'énergie est perçue comme un processus continu.

Ce chapitre est une introduction à la gestion énergétique en tant que processus continu. On y trouvera un aperçu des divers éléments qui entrent en jeu dans le processus.

1.2 Le processus de la gestion énergétique

La gestion de l'énergie dans un bâtiment ne consiste pas à le soumettre à des actions ponctuelles. C'est plutôt un PROCESSUS CONTINU, qui repose sur un certain nombre d'éléments clés.

Ces éléments sont:

- l'étude et l'évaluation énergétique du bâtiment en question,
- la liste des mesures à prendre pour économiser l'énergie, compte tenu des résultats de l'évaluation précitée,
- la mise en oeuvre soigneusement planifiée de ces mesures,
- la vérification régulière des économies d'énergie réalisées.

Une fois amorcée, la gestion de l'énergie devient un processus continu qui s'intègre dans l'entretien régulier et l'exploitation du bâtiment, ainsi que dans les modifications susceptibles d'être ultérieurement apportées à son occupation, son enveloppe ou son équipement mécanique.

La figure 1.1 montre sous forme graphique la différence entre la gestion de l'énergie en tant que PROJET et en tant que PROCESSUS.

La gestion énergétique en tant que processus présente les avantages suivants:

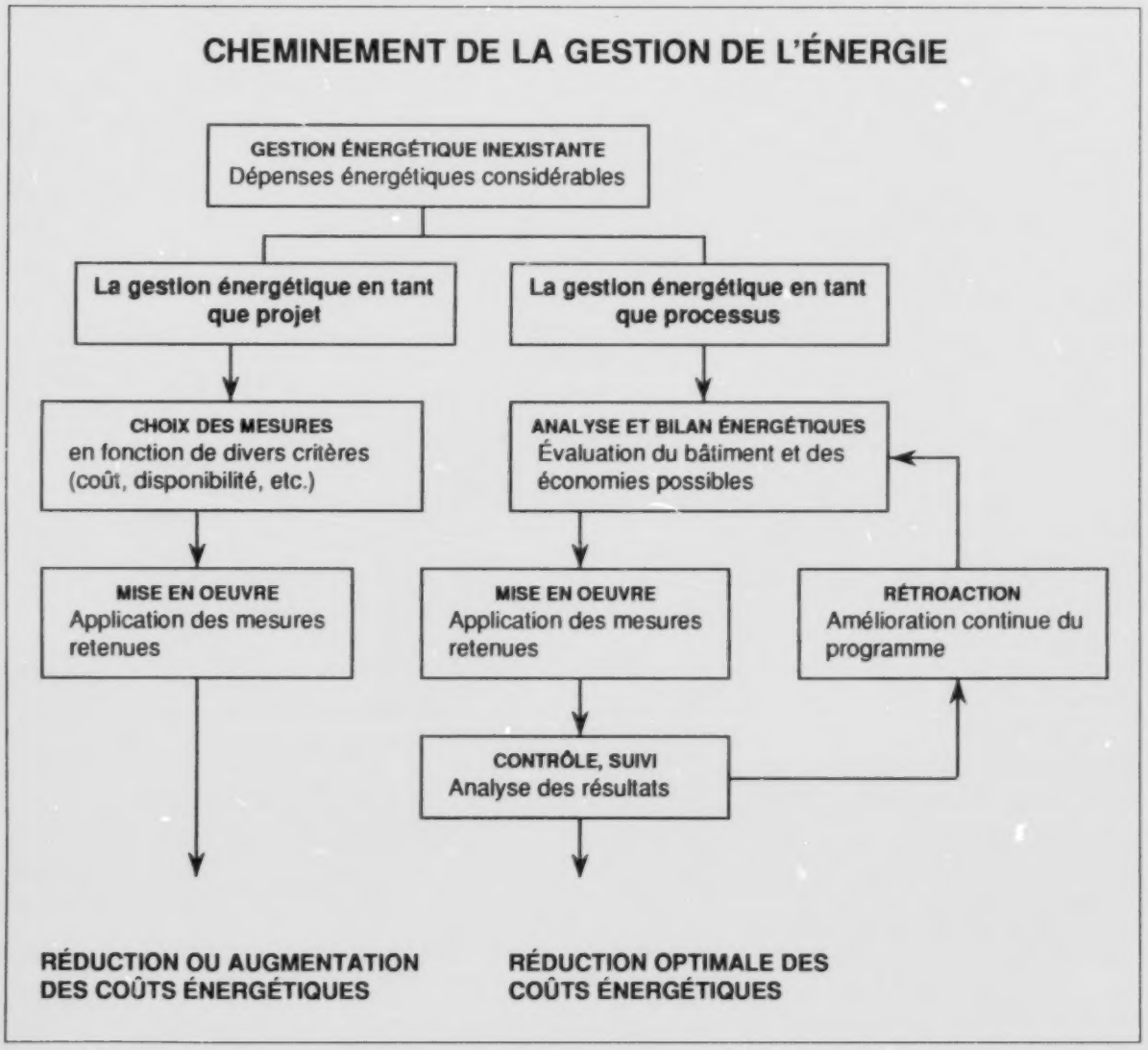
- Choix des mesures les plus rentables et les meilleures, qui sont ensuite mises en oeuvre dans l'ordre voulu.
- Le contrôle des résultats donnés par les mesures d'économie d'énergie est une source de renseignements permettant de les améliorer au fur et à mesure ou d'en ajouter d'autres. Ce contrôle est également bénéfique sur le plan de la motivation.
- Allongement de la durée de vie utile de l'enveloppe et de l'équipement mécanique du bâtiment.
- Amélioration du confort et de la productivité des occupants.
- A long terme, le bâtiment arrive à avoir un rendement optimal, à un coût d'exploitation minimal

Par ailleurs, la gestion énergétique en tant que processus tient compte du fait qu'un bâtiment n'est pas une chose statique. En effet, les variations du taux d'occupation influent sur la répartition et la destination de l'espace intérieur, ainsi que sur le mode d'utilisation du bâtiment, toutes choses qui influent à leur tour sur le travail que doit fournir l'équipement mécanique et sur son rendement. Les éléments constitutifs de l'enveloppe du bâtiment doivent être régulièrement entretenus, et à la fin de leur durée de vie utile, on doit procéder à leur modernisation, voire à leur remplacement. Ces changements sont susceptibles de modifier la quantité de travail que doit fournir le système mécanique, ce qui n'est pas sans conséquences sur la consommation d'énergie. Ce système exige, lui aussi, un entretien régulier, et il faudra tôt ou tard en moderniser les composants ou bien les remplacer. L'intégration des activités de gestion énergétique dans l'entretien régulier du bâtiment et dans sa modernisation apparaît donc comme le moyen le plus rentable d'en gérer les ressources.

LA GESTION DE L'ÉNERGIE

Comme toute forme de gestion, celle de l'énergie exige une planification poussée. Il faut du temps pour analyser, préparer et coordonner les mesures qui permettent de réaliser des économies d'énergie. Dans le cas de bâtiments ou de systèmes complexes, il est parfois nécessaire de consulter des experts-conseils. Enfin, il faut affecter du personnel aux travaux de contrôle et d'examen des résultats du programme. Mais ce temps n'est pas perdu. Il représente au contraire un investissement rentable, qui permet le maximum d'économies dans chacun des bâtiments où le programme est mis en oeuvre.

Figure 1.1

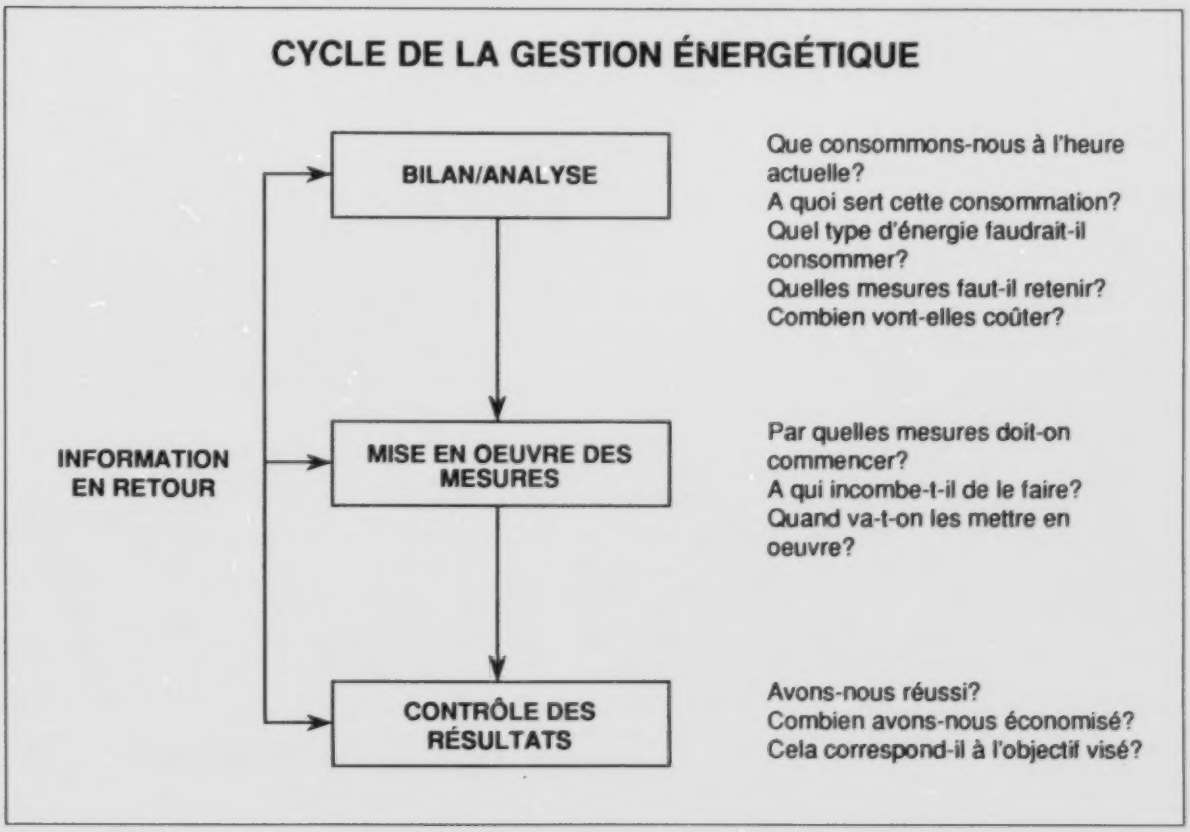


Les étapes de la gestion énergétique

Les trois grandes étapes de la gestion énergétique sont:

1. L'analyse et le bilan énergétiques.
2. La mise en oeuvre des mesures.
3. Le contrôle des résultats.

Figure 1.2



Étape 1 : Analyse et bilan énergétiques

Bien qu'un examen rapide et sommaire des lieux révèle dans bien des cas de nombreuses possibilités d'économiser l'énergie, il est quand même recommandé de faire le bilan énergétique complet du bâtiment. En effet, ce bilan servira de base au programme de mise en oeuvre des mesures, et de référence aux études partielles qui pourraient se révéler nécessaires quelques années plus tard, en raison d'une modification majeure de l'occupation du bâtiment, de son enveloppe ou de ses systèmes mécaniques.

Le BILAN ÉNERGÉTIQUE complet consiste à faire l'évaluation totale du bâtiment et l'analyse de sa consommation d'énergie. Les caractéristiques physiques de l'enveloppe (murs, fenêtres, portes, toiture, plancher, etc.) et les divers systèmes électriques et mécaniques (équipement de chauffage, ventilation et refroidissement, matériel d'éclairage, chauffe-eau, etc.) sont étudiés. Les factures d'électricité sont examinées en vue de la détermination de la consommation d'énergie, et l'on procède, si possible, à la ventilation de cette consommation entre les divers systèmes. (La figure 1.3 est un exemple de formulaire servant à comptabiliser les achats d'énergie).

On doit inscrire dans le bilan énergétique l'OBJECTIF à atteindre, c'est-à-dire la consommation annuelle minimale nécessaire pour fournir à tel bâtiment (ou groupe de bâtiments) les conditions environnementales requises, compte tenu des critères d'investissement utilisés.

Le bilan énergétique fournit aussi l'information nécessaire à la conception du programme de MISE EN OEUVRE des mesures d'économies d'énergie. On dresse la liste de ces mesures en se fondant sur le résultat de l'analyse énergétique et sur l'objectif à atteindre. On distingue habituellenent dans cette liste plusieurs catégories de mesures: celles qui ne coûtent rien (simples mesures de nettoyage), celles dont le coût est faible (entretien ou légère modernisation), celles enfin qui représentent des améliorations ou modernisations majeures et exigent de gros investissements. Pour chacune des mesures à prendre, le rapport de présentation du bilan énergétique donne le coût en capital et le montant estimatif des économies d'énergie susceptibles d'être réalisées.

Lors de l'élaboration des mesures, il importe de prendre en considération certains facteurs d'ordre pratique comme la disponibilité des ressources financières et humaines nécessaires et l'existence de programmes d'entretien et de réparation.

Étape 2 : Mise en oeuvre des mesures

Après avoir pris connaissance des données relatives au bâtiment et des mesures recommandées dans le bilan énergétique, il faut tenir compte de beaucoup d'autres facteurs d'ordre pratique lors de l'élaboration du plan de mise en oeuvre des mesures. Ces facteurs sont:

- le programme d'entretien de l'enveloppe et du système mécanique;
- leur programme de réparation et d'amélioration;
- les modifications prévues en ce qui concerne l'occupation du bâtiment;
- les prévisions relatives aux grands travaux de réparation ou de rénovation;
- la disponibilité des ressources financières nécessaires;
- la disponibilité des ressources humaines nécessaires à la mise en oeuvre du programme et à sa gestion.

Le plan de mise en oeuvre complet doit intégrer ces facteurs dans les mesures d'économie d'énergie à implanter. On obtient ainsi un programme pratique et rentable, adapté au bâtiment visé.

Dans la plupart des cas, la réalisation du plan s'étale sur plusieurs années. En règle générale, on commence par mettre en oeuvre les mesures qui ne coûtent rien et celles dont le coût est faible, car leur délai d'amortissement financier est court. En outre, les économies qu'elles font faire permettent de financer les mesures plus coûteuses.

La mise en oeuvre des mesures d'économie d'énergie se déroule selon le programme prévu. Voici quelques-unes des étapes capitales:

- répartition des ressources financières et humaines;
- obtention des devis estimatifs et sélection des experts-conseils s'il y a lieu;
- désignation d'un chef de projet ou d'un responsable des questions énergétiques auquel il incombera de mettre en oeuvre le programme et d'en contrôler les résultats;
- choix des entrepreneurs et/ou des membres du personnel nécessaires à la mise en oeuvre des mesures.

Étape 3 : Le contrôle

C'est une étape essentielle, qui permet de mesurer les résultats et d'adapter le programme en fonction des renseignements qu'on en tire à mesure qu'il avance. La méthode de contrôle la plus simple consiste à examiner les factures d'énergie, sur une base mensuelle et annuelle, et à en comparer les chiffres avec ceux d'une année de référence antérieure au programme. Pour que le contrôle soit complet, il convient de prendre également note des facteurs qui influent sur la consommation d'énergie. Voici, à titre d'exemple, la liste des éléments d'un programme de contrôle complet:

- mesure de la consommation et des coûts énergétiques;
- enregistrement des indicateurs de performance tels que rendement des chaudières et température de l'air fourni;
- enregistrement des conditions météorologiques;
- enregistrement des modifications et ajouts apportés au bâtiment;
- enregistrement des modes d'occupation et d'utilisation du bâtiment et des remarques des occupants au sujet du confort;
- enregistrement des changements touchant l'occupation et l'utilisation du bâtiment;
- enregistrement des mesures d'économies d'énergie au fur et à mesure de leur mise en oeuvre;
- enregistrement des travaux d'entretien de l'équipement.

Beaucoup de ces données seront disponibles dans des dossiers existants. L'inclusion de facteurs influant sur la consommation d'énergie rendra encore plus significatif le processus de comptabilisation de l'énergie. Le responsable du programme pourra ainsi déceler d'éventuelles incohérences sur le plan de l'utilisation de l'énergie et diagnostiquer avec précision les problèmes touchant l'exploitation du bâtiment et l'application du programme.

Tableau des achats d'énergie

Unité d'exploitation ____ Centre de coûts ____ Rempli par ____ Année ____ Date ____

Source d'énergie	Achats d'électricité							Gaz naturel			Mazout n° 2			Mazout n° 6			Charbon			Achats de vapeur			Autres			TOTAL	
Unités	kWh consommés	Puissance Kw	Ecrêtement	Facteur de puissance	Combustible	TOTAL $	MJ	MJ/m³	$	MJ	Litres	$	MJ	GAL	$	MJ	TONNE	$	MJ	Kg	$	MJ		$	MJ	$	MJ
Colonne n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Janvier																											
Février																											
Mars																											
1er trimestre																											
Avril																											
Mai																											
Juin																											
2e trimestre																											
Juillet																											
Août																											
Septembre																											
3e trimestre																											
Octobre																											
Novembre																											
Décembre																											
4e trimestre																											
Total année																											

Figure 1.3

1.4 La comptabilité énergétique

On appelle comptabilité énergétique l'analyse systématique de la consommation et des coûts de l'énergie en vue de mieux en gérer l'utilisation dans les bâtiments. Dans cette comptabilité, l'information recueillie au moyen des opérations de contrôle permet de rendre compte de l'avancement du programme de gestion énergétique. Il s'agit en somme de savoir avec précision où l'énergie est utilisée, à quelle fin et en quelle quantité. Une fois que l'on connaît les facteurs qui infuent sur la consommation énergétique, il devient possible de la modifier de façon à l'amener au niveau souhaitable. Le responsable du programme est alors en mesure de porter un jugement sur la performance du bâtiment par rapport à celle d'autres bâtiments ou par rapport à celles des années d'exploitation précédentes.

La consommation d'énergie d'un bâtiment dépend de beaucoup de facteurs, notamment des suivants:

- conditions climatiques du site;
- conception, qualité et état de l'enveloppe;
- résistance thermique des murs et de la toiture,
- nombre et dimensions des fenêtres,
- qualité et type des fenêtres,
- fuites d'air par les fenêtres, portes et ouvertures diverses,
- systèmes mécaniques;
- systèmes de chauffage et de climatisation;
- systèmes d'éclairage, de chauffage de l'eau, appareils divers;
- entretien de l'équipement et des systèmes;
- rendement des systèmes et de leurs composants;
- Modes d'utilisation et d'occupation du bâtiment.

Il n'y a pas deux bâtiments qui soient rigoureusement identiques.

C'est pourquoi les facteurs de consommation varient d'un bâtiment à l'autre, de sorte que chaque bâtiment a des caractéristiques de consommation qui lui sont propres. Il n'en reste pas moins que des bâtiments qui se ressemblent présentent certaines analogies d'ordre général.

Chaque source d'énergie correspond à un profil de consommation distinct. Et la combinaison des profils des différentes sources donne un tableau composite de la consommation globale du bâtiment. C'est ce qu'illustre la figure 1.4.

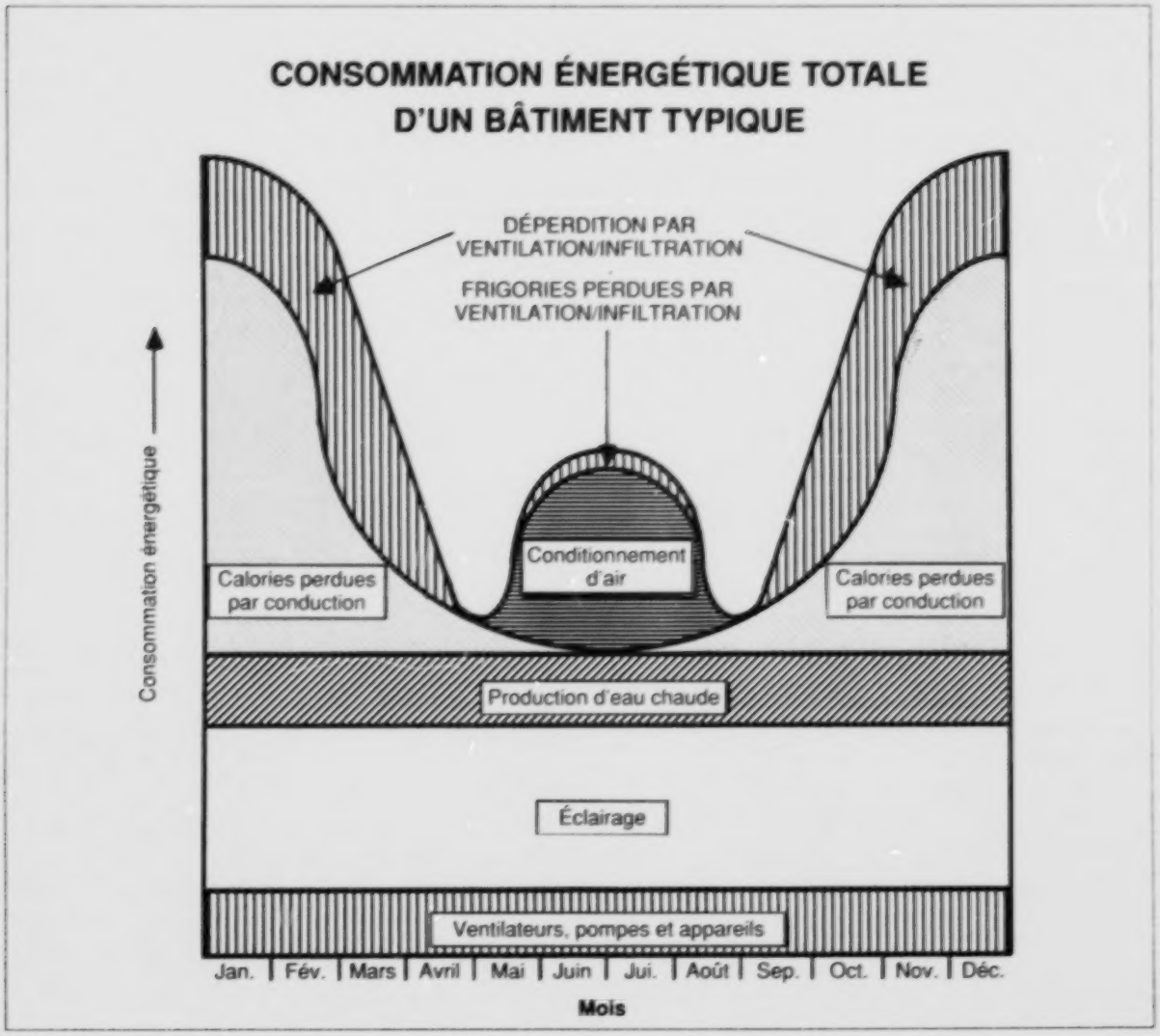
Pour que la comptabilité énergétique ait un sens, il nous faut mesurer la consommation et comparer le chiffre obtenu soit à une valeur servant de norme ou de référence, soit à la consommation d'une année antérieure. Il importe toutefois d'ajuster les données de façon à tenir compte des modifications subies par les variables du bâtiment. Deux grands principes s'appliquent à ce genre de cas:

1. Les ajustements dus à un facteur extérieur (le climat, par exemple) ne doivent s'appliquer qu'à la partie de la consommation sur laquelle il influe.

2. Les effets d'une variable doivent être assez importants pour justifier l'ajustement de la méthode de comptabilisation (le climat est une variable importante lorsqu'il s'agit de faire des comparaisons entre différents mois).

Comme nous l'avons écrit plus haut, on appelle comptabilité énergétique l'analyse systématique de la consommation et des coûts de l'énergie. Qu'ils soient informatisés ou manuels, la plupart des systèmes destinés à ce type de comptabilité puisent leurs données de départ dans les factures mensuelles des fournisseurs d'énergie (électricité, gaz, combustibles, etc.). La création d'une base de données portant sur les consommations passées et actuelles permet d'employer le système pour analyser les tendances, déceler les problèmes éventuels, produire des rapports et des graphiques, calculer les économies d'énergie (et d'argent) que l'on a faites et contrôler le programme de gestion énergétique.

Figure 1.4



1.4.1 Les avantages de la comptabilité énergétique

Un bon système de comptabilité énergétique procure des avantages tangibles qui permettent d'en amortir plusieurs fois le coût. Voici quelques-uns des avantages les plus intéressants que l'on peut tirer d'un tel système:

1. Vérification des factures mensuelles

Avant d'autoriser le règlement des factures, il importe de les vérifier afin de déceler le mauvais fonctionnement éventuel des compteurs ou les erreurs de lecture commises par les releveurs.

La comparaison de la consommation du mois courant avec celle du mois précédent (ou bien avec celle du même mois d'une année antérieure) permet au gestionnaire de diagnostiquer rapidement les problèmes susceptibles de se poser.

2. Identification des bâtiments à améliorer

Un bon système de comptabilité énergétique permet de calculer la consommation énergétique par unité de superficie. Ce chiffre peut alors servir à classer plusieurs bâtiments, après quoi on pourra faire porter les efforts d'analyse et de contrôle sur ceux dont le rendement énergétique est le plus faible.

3. Aide à la gestion des budgets

Les coûts énergétiques sont probablement l'élément le plus changeant des budgets d'exploitation. La comptabilisation de l'énergie permet de suivre de près l'évolution des dépenses énergétiques et de les comparer constamment aux chiffres inscrits au budget.

4. Contrôle des programmes de gestion énergétique

Il importe de respecter les directives et les politiques établies en matière de gestion énergétique. La comptabilité énergétique permet de connaître le mode d'utilisation de l'énergie de chaque bâtiment et de le juger par rapport à une norme ou une référence. Ce contrôle renseigne le responsable du bâtiment sur le résultat de son travail et l'incite à améliorer sa gestion énergétique.

5. Justification des investissements économisant l'énergie

Pour réussir à obtenir les crédits nécessaires à la réalisation des projets de gestion énergétique, il importe d'en justifier la nécessité par des arguments probants. Le système de comptabilité énergétique peut servir à démontrer la rentabilité des projets que l'on a réalisés et des mesures mises en oeuvre, ainsi qu'à appuyer les demandes de crédits pour de nouveaux projets. Les rapports sur les réductions de coût prouvent à la haute direction que la gestion de l'énergie est une chose rentable.

6. Information de la haute direction

Un bon système de comptabilité énergétique permet de fournir à la haute direction des rapports précis et concis sur le programme de gestion énergétique et de la tenir au courant des plus récents résultats. C'est à cet égard un excellent outil d'information.

1.4.2 Caractéristiques du système de comptabilité énergétique

Pour assurer la fiabilité de la comptabilité énergétique et permettre de faire les comparaisons qui s'imposent, il est souhaitable que le système présente les caractéristiques décrites ci-dessous.

1. Contrôle des coûts et de la consommation

Le système doit permettre de suivre, mois par mois, l'évolution des coûts et de la consommation. Il doit aussi en calculer les totaux depuis le début de l'année, car ces derniers révèlent, mieux que les chiffres mensuels, l'étendue des résultats obtenus. On peut également employer le système pour calculer les coûts à partir des tarifs du fournisseur d'énergie. Cette méthode réduit le nombre des données de départ tout en fournissant des chiffres qui permettent de contrôler les factures et d'y déceler des anomalies éventuelles.

2. Contrôle de la puissance appelée

Dans certains cas, les primes de puissance facturées par le fournisseur d'électricité représentent une importante partie de la facture totale. Dans de tels cas, il importe de contrôler les appels de puissance et les coûts qu'ils entraînent.

3. Comparaison avec les chiffres d'une année de référence

Le système doit se fonder sur une année de référence, c'est-à-dire une année antérieure pour laquelle on dispose de données fiables, et par rapport à laquelle on mesure les résultats du programme de gestion énergétique.

4. Normalisation

Le système doit normaliser les résultats, c'est-à-dire les ramener au même nombre de jours pour chaque période de facturation, afin justement d'éviter les fluctuations susceptibles de fausser les chiffres figurant dans les rapports. Il doit également tenir compte des variations d'ordre climatique,

sans pour autant leur imputer la variation totale de la consommation d'énergie. Il convient également de prendre en considération les modifications subies par le bâtiment en ce qui concerne ses dimensions, son emploi ou son occupation.

5. Calcul d'un indice de consommation énergétique

Le système doit être en mesure d'exprimer la consommation de chaque bâtiment en MJ/m^2, d'en calculer les valeurs mensuelles et de les totaliser pour donner la consommation depuis le début de l'année. Ces chiffres permettent alors de faire un classement des bâtiments fondé sur le rendement énergétique. (Voir en annexe 1 les détails concernant la mesure des consommations d'énergie). Étant donné que beaucoup de nouvelles normes se fondent sur la consommation par unité de superficie, il importe de pouvoir comparer la consommation de vos bâtiments à celle des autres édifices. On peut également calculer la consommation d'énergie par personne ou par unité de production, si ces chiffres sont jugés utiles.

6. Utilisation d'un système d'information à plusieurs niveaux

Les gestionnaires n'ont besoin que des résultats concernant le ou les bâtiments dont ils sont responsables. Dans la plupart des cas, il suffit de leur transmettre un résumé d'une page. Dans le même ordre d'idées, il suffit de communiquer à la haute direction un compte rendu concis des résultats globaux, quitte à donner à ceux qui le souhaitent plus de détails sur telle ou telle chose.

1.5 Indices de consommation énergétique

En règle générale, les programmes de comptabilité énergétique doivent permettre de calculer les indices de consommation énergétique (ICE) d'un bâtiment. Ce genre de calcul peut aussi se faire facilement à la main. La figure 1.5 propose un formulaire de calcul des ICE. Ce document donne, sous forme abrégée, la consommation annuelle réelle d'un bâtiment et permet d'en calculer facilement l'indice de consommation énergétique, exprimé en kilowatts-heures par mètre carré par année (kWh/m^2/année).

Ce formulaire donne la consommation énergétique de chaque mois d'exploitation du bâtiment, pour chacune des sources d'énergie utilisées. En complétant le formulaire chaque année, on réussit à suivre l'évolution de la consommation et à contrôler les résultats des mesures d'économie d'énergie. L'emploi d'un formulaire distinct pour chacun des bâtiments d'un ensemble permet de comparer, avec précision et concision, leurs consommations d'énergie.

On procède de la façon suivante pour compléter le formulaire:

1. Pour chaque source d'énergie, inscrire les données tirées des factures mensuelles (quantités et coûts), ainsi que la date de lecture des compteurs (afin de pouvoir ramener les chiffres à une même période de facturation). (Remarque: en l'absence de chiffres mensuels, passer directement à l'étape 2 ci-après). Les chiffres mensuels sont très utiles, car ils donnent le détail des variations saisonnières de la consommation. Ils ne sont cependant pas indispensables à l'établissement des données devant figurer dans le formulaire de calcul de l'ICE.

2. Totaliser les chiffres figurant dans les colonnes, ce qui donne les quantités et les coûts totaux de l'année pour chaque source d'énergie. Inscrire ces totaux dans les cases de la rangée intitulée "Total année". Si l'on ne dispose que des factures annuelles, transcrire directement les chiffres qui s'y trouvent.

3. Additionner les coûts de toutes les sources d'énergie pour obtenir le coût énergétique total.

4. Dans la colonne intitulée "Consommation réelle", inscrire les consommations annuelles de chaque source d'énergie. Multiplier ces chiffres par les facteurs de conversion pour exprimer les consommations en kWh/année .Si les consommations ne sont pas exprimées dans l'une des unités figurant dans le formulaire, il faut avoir recours à d'autres facteurs de conversion. Nous en donnons quelques-uns dans le tableau ci-dessous.

électricité		=	3.6	MJ/kWh		
gaz naturel	=	37.0	MJ/m^3	=	10.3	kWh/m^3
	=	1.048.0	MJ/Mcf	=	291.0	kWh/Mcf
mazout n° 1	=	36.0	MJ/L	=	10.0	kWh/L
	=	163.8	MJ/gal	=	45.5	kWh/gal
mazout n° 2	=	38.0	MJ/L	=	10.6	kWh/L
	=	163.8	MJ/gal	=	48.0	kWh/gal
mazout n° 4	=	40.0	MJ/L	=	11.1	kWh/L
	=	182.0	MJ/gal	=	50.5	kWh/gal
mazout n° 6	=	42.0	MJ/L	=	11.7	kWh/L
	=	191.0	MJ/gal	=	53.2	kWh/gal
charbon	=	21.0	MJ/Kg	=	5.8	kWh/Kg
	=	9.5	MJ/lb	=	2.9	kWh/lb
vapeur	=	23.0	MJ/Kg	=	6.4	kWh/Kg
	=	10.3	MJ/lb	=	2.9	kWh/lb
propane	=	26.0	MG/L	=	7.2	kWh/L
	=	118.3	MJ/gal	=	32.8	kWh/gal

5. Pour calculer l'ICE, diviser la consommation par la surface de plancher.
6. Comparer le résultat obtenu aux chiffres publiés dans les normes.

Figure 1.5

Formulaire de calcul des ICE

mois	Gaz naturel		Propane		Mazout n° 2		Électricité	
	quantité (m^3)	coût	quantité (m^3)	coût	quantité (m^3)	coût	quantité (m^3)	coût
1	2	3	4	5	6	7	8	9
JAN.								
FÉV.								
MARS								
AVRIL								
MAI								
JUIN								
JUIL.								
AOÛT								
SEPT.								
OCT.								
NOV.								
DÉC.								
Total année								

COÛT TOTAL DE L'ÉNERGIE
Colonnes 3,5,7&9 _____ **$**

SOURCE D'ÉNERGIE	CONSOMMATION RÉELLE				
	consommation	X	facteur de conversion	=	Consommation en kWh/année
Gaz naturel		x	**10.3**	=	
Propane		x	**7.2**	=	
Mazout n° 2		x	**10.6**	=	
Électricité		x	**1.0**	=	
Total			**TOTAL**	=	

INDICE DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (ICE)

$$E.I. = \frac{\text{Consommation en kWh/année}}{\text{Surface de plancher } (m^3)}$$

$$= \frac{\text{kWh/année}}{(m^3)}$$

$$= \text{kWh/m}^3\text{/année}$$

1.6 Relevé et bilan de consommation

Le gestionnaire d'un édifice à bureaux est souvent confronté au problème de l'évaluation de l'efficacité de son programme d'économie d'énergie. En effet, il arrive parfois que des modifications importantes dans l'opération de l'édifice viennent fausser les prévisions relatives aux mesures d'économie d'énergie. Les changements les plus fréquents sont les suivants: la superficie occupée et le nombre d'heures d'occupation, l'utilisation (bureaux, commerces, ordinateurs, etc.), les conditions climatiques (nombre de degrés-jours) et la source d'énergie utilisée.

Voici une méthode simple et rapide pour estimer l'influence de ces différents facteurs. *Cette estimation permet d'ajuster la consommation enregistrée lors des années antérieures en fonction des changements apportés à l'édifice et d'avoir ainsi une idée plus précise de l'impact réel des mesures d'économie d'énergie implantées.*

Cette méthode a été développée afin de permettre l'ajustement au cours des années de la consommation unitaire d'un édifice en fonction des changements dans les conditions d'opération. Celle-ci a été réalisée à partir de simulations sur ordinateurs et de certaines statistiques recueillies sur les édifices à bureaux. Le logiciel BESA (Building Energy System Analysis, logiciel réalisé par Candaplan pour simuler la consommation énergétique) a été utilisé pour évaluer le degré de sensibilité des différents facteurs. Ces simulations ont été réalisées en tenant compte des conditions d'opération typiques des édifices à bureaux. Les facteurs utilisés dans cette section constituent donc une moyenne pour l'ensemble des édifices à bureaux en considérant les différents systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation. Notons que cette méthode est davantage un outil qu'un moyen de prévoir la consommation énergétique.

Les principaux facteurs qui influencent la consommation unitaire d'un édifice à bureaux sont présentés dans les paragraphes qui suivent. La figure 1 présente les facteurs correctifs associés à ces paramètres afin de comparer dans le temps la consommation unitaire d'un édifice à bureaux.

L'ajustement de la consommation unitaire est toujours effectué à partir d'une année de référence. Celle-ci constitue la base de comparaison et elle peut changer d'une année à l'autre selon l'objectif recherché.

FACTEURS D'AJUSTEMENT DE LA CONSOMMATION UNITAIRE ANNUELLE DE L'EDIFICE

Modifications apportées aux conditions d'opération de l'édifice	Edifices Non-climatisés	Edifices Climatisés
A) Nombre d'heures d'occupation	± 8%/ de 10h/sem.	± 9%/ de 10h/sem.
B) Degré d'occupation	± 32%/ de 10%	± 4%/ de 10%
C) Refroidissement Mécanique (Climatisation)		± 1,2%/ de 10%
D) Utilisation de locaux		
- commerces		± 5%/ de 10%
- ordinateurs		± 4%/ de 10%
E) Nombre de degrés-jours		± 1%/ de 5%
F) Conversion du mode de chauffage		± 25% de la consommation pour le chauffage

: Variation

Facteurs affectant la consommation d'un édifice à bureaux:

1. Taux d'occupation

L'occupation de l'édifice constitue sans contredit une variable ayant beaucoup d'influence sur la consommation unitaire de l'édifice. En effet, lors des heures d'occupation, les conditions de température, d'humidité et l'apport d'air frais minimum doivent être contrôlés afin d'assurer le confort des occupants. En périodes inoccupées, les systèmes de ventilation et de refroidissement sont habituellement arrêtés et les points de consigne de température et d'humidité sont abaissés durant la période de chauffage. De plus, l'éclairage peut être réduit au minimum. L'augmentation ou la réduction des heures d'occupation entraîne nécessairement une variation des heures d'opération de l'éclairage, du système de ventilation (des exigences d'air frais), de chauffage et de refroidissement. On estime qu'un facteur de correction de 8% devrait être utilisé pour chaque variation de 10h/sem dans l'occupation d'un édifice à bureaux non climatisé (non refroidi mécaniquement) et de 9% pour un édifice à bureaux climatisé.

2. Degré d'occupation

Le degré d'occupation est un autre facteur à considérer. Ce dernier représente le pourcentage occupé de la superficie brute d'un édifice. La baisse du degré d'occupation entraîne généralement une baisse de la consommation d'énergie pour l'éclairage et pour la climatisation. Chaque variation de 10% dans le degré d'occupation entraînera une variation de 3% de la consommation unitaire annuelle pour un édifice non-climatisé et de 4% pour un édifice climatisé.

3. Refroidissement mécanique

Habituellement, les édifices à bureaux sont refroidis mécaniquement afin de combattre les gains thermiques importants présents dans la pièce (éclairage, gains des personnes, ordinateurs, etc.). Cependant pour certains locaux, la température maximum d'opération ne constitue pas un élément critique (entrepôts, garages, etc.). La consommation nécessaire au refroidissement d'un édifice à bureaux est de l'ordre de 12% de la consommation totale d'énergie. Des transformations majeures dans l'utilisation d'un édifice entraînent parfois des nouvelles exigences sur les besoins de refroidissement. Si tel est le cas, le pourcentage de la superficie totale de l'édifice couvert par ces changements doit être évalué et multiplié par un facteur de 12%. Le résultat de ce calcul doit être utilisé pour ajuster la consommation unitaire avec la consommation unitaire de l'année étudiée.

4. Galerie marchande

Les statistiques obtenues sur les galeries marchandes démontrent clairement que celles-ci augmentent la consommation unitaire d'un édifice à bureaux à cause de la diversité des équipements utilisés et du nombre d'heures d'occupation. Un facteur de correction de 5% peut être utilisé pour chaque variation de 10% de la superficie de plancher utilisée à cette fin.

5. Degrés-jours

Selon les conditions climatiques de l'année considérée, la consommation d'énergie pour le chauffage de l'édifice sera plus ou moins importante. Une façon pratique d'évaluer l'influence des conditions climatiques sur l'énergie utilisée pour le chauffage qui constitue en fait la différence quotidienne entre une température de base de 18°C et la température moyenne à l'extérieur pour la journée, lorsque celle-ci est inférieure à la température de base.

Exemple: température moyenne du 3 janvier 1985:
-12,2 °C.

nombre de degrés-jours du 3 janvier 1985:
18 °C - (-12,2 °C) = 30,2 degrés-jours

On peut habituellement retrouver le nombre de degrés-jours de chauffage pour chaque région du Canada dans le livre intitulé "Normales climatiques du Canada" publié par le Service de l'environne-

ment atmosphérique ou en appelant le service météorologique de sa région. Afin d'ajuster la consommation unitaire de référence en fonction des degrés-jours de chauffage un facteur de 1% doit être utilisé pour chaque variation de 5% dans le nombre de degrés-jours.

6. Forme d'énergie

La source principale d'énergie utilisée pour le chauffage des locaux et/ou de l'eau chaude domestique constitue également un facteur à considérer. Etant donné que l'efficacité du chauffage électrique est de l'ordre de 100%, que celle du chauffage au mazout et au gaz naturel est d'environ 75%, un ajustement doit être apporté en tenant compte de la consommation unitaire du combustible. Cet ajustement est effectué à partir de l'année de référence lorsqu'il y a conversion du système de chauffage au mazout ou gaz naturel vers un système électrique. Cependant l'ajustement est effectué à partir de l'année étudiée lorsqu'il y a conversion du système de chauffage à l'électricité vers un système au mazout ou au gaz naturel.

La figure 2 est un exemple de calcul d'ajustement de la consommation unitaire de l'année de référence. La figure 3 permet d'évaluer la consommation unitaire pour l'année étudiée et de comparer celle-ci avec la consommation unitaire ajustée de l'année de référence. Il est donc possible d'évaluer l'impact d'un programme de gestion d'énergie en tenant compte des changements survenus dans les conditions d'opération d'un édifice à bureaux (heures d'occupation, degré d'occupation, utilisation de l'édifice, etc.). Cependant, cette méthode de calcul ne constitue qu'un outil permettant d'estimer l'impact réel des efforts consacrés au programme de gestion d'énergie. Mentionnons que la précision du résultat dépend principalement de l'effort fourni par le gestionnaire pour cerner toutes les variables mentionnées dans ce chapitre et remplir adéquatement les formulaires prévus à cette fin. (section 6.0).

Figure 2

AJUSTEMENT DE LA CONSOMMATION UNITAIRE ANNUELLE

Modifications apportées aux conditions d'opération de l'édifice	Refroidissement Mécanique (Climatisé)	Pourcentage affecté de la superficie brut		Facteur d'ajustement de la consommation unitaire augmentation	réduction		Ajustement par rapport à l'année de référence
Nombre d'heures d'occupation:	Non	____	X	+0,08/10h	-0,08/10h	=	-2,7 % (D)
	Oui	30%	X	+0,09/10h	-0,09/10h		
Superficie occupée	Non	____	X	+0,30	-0,30	=	-4,0 % (E)
		10%	X	+0,40	-0,40		
Superficie occupée		10%	X	+0,12	-0,12	=	+1,2 % (F)
Superficie utilisée							
- A des fins commerciales		5%	X	+0,5	-0,5	=	+2,5 % (F)
- Aux besoins des ordinateurs		5%	X	+0,4	-0,4	=	+0,8 % (H)

Nombre de degrés-jours:	Année étudiée / Année de référence	(5 400) / (5 000)	-1	X	20		=	+1,6 % (I)
Conversion du mode de chauffage des locaux: et/ou de l'eau chaude domestique	mazout ou gaz naturel: - + l'électricité	Consommation annuelle de combustible:	*	536 GJ	X	+0,25	=	-134 GJ (J)

Ajustement total sur une base annuelle :(Sommation de D à I) -0,6 % (K)

Consommation unitaire annuelle de l'année de référence: 1985 = 1,4 GJ/m²·a (L)

Consommation unitaire ajustée pour l'année étudiée : $\frac{(1 + K)}{100} \times L + \frac{(J)}{(A)}$ 1,377 GJ/m²·a (M)

* Consommation de combustion de l'année de référence ou de l'année étudiée remplacée par l'électricité

Figure 3

BILAN ÉNERGÉTIQUE POUR L'ANNÉE: 1986

Nom de l'édifice : Place de l'Énergie

Superficie brute (section 3.2) de l'édifice 9 500 m² (A)

Source # 1 : Mazout #2 Source # 2: Électricité

Unités : Litres Unités: kWh

Consommation annuelle	Facteur de conversion (GJ)	Conversion (GJ)	Consommation annuelle	Facteur conversion (GJ)	Conversion (GJ)	Sommation des sources d'énergie (GJ)
32 216	0,0388	1 250	3 083 333	0,0036	11 100	12 350 (*) (B)

Consommation unitaire annuelle (B/A) = 1,3 GJ/m²·a (C)

Année de référence pour l'évaluation de la performance énergétique de l'édifice : 1985

Consommation unitaire ajustée tel que présentée au point M de la page suivante : 1,377 GJ/m²·a (M)

Calcul de la performance énergétique de l'édifice pour l'année étudiée : (en terme de pourcentage) $\frac{(M-C)}{(M)} \times 100 = 5,6\ \%$

(*) Le bilan énergétique doit toujours être comptabilisé pour une année complète. (Exemple: du 1er janvier '86 au 31 déc. '86)

1.7 L'assistance technique à la gestion de l'énergie

Cette assistance peut provenir de plusieurs sources:

1. Publications gouvernementales (du fédéral et de la province).
2. Associations professionnelles.
3. Matériel vidéo (secteur public et secteur privé).
4. Personnel technique des ministères provinciaux.
5. Fournisseurs de produits destinés à la gestion énergétique.
6. Sociétés de service spécialisées dans la gestion de l'énegie.
7. Ingénieurs conseils et spécialistes.

Ces sources présentent toutes des avantages spécifiques. La mise en oeuvre de certaines des mesures décrites dans le présent guide nécessite de l'assistance technique et confronte l'exploitant ou le gestionnaire du bâtiment à des choix complexes. Pour prendre une décision en connaissance de cause, il doit connaître le problème technique dans ses moindres détails et avoir une idée précise des solutions possibles.

Dans beaucoup de cas, l'assistance technique peut prendre la forme de publications ou de matériel vidéo. L'exploitant ou le gestionnaire du bâtiment peut aussi demander conseil aux fournisseurs et aux sociétés de service. Il peut visiter des bâtiments semblables au sien, où la mesure qu'il envisage a donné de bons résultats. Il importe de consulter plusieurs fournisseurs ou sociétés de service afin de comparer les renseignements obtenus et d'en vérifier la fiabilité. De même, il importe de visiter plusieurs installations où la mesure envisagée a été mise en oeuvre, et de faire les comparaisons qui s'imposent. Dans le cas des mesures et des produits destinés aux économies d'énergie, l'information doit être corroborée par les résultats d'un programme de contrôle.

On doit recourir aux services d'un ingénieur conseil ou d'un architecte chaque fois que la mesure à mettre en oeuvre nécessite la modification du bâtiment. On peut consulter le personnel technique qui précisera s'il y a lieu de faire appel à des consultants pour le projet envisagé. L'ingénieur ou l'architecte peut fournir une assistance technique sans partialité à l'égard de tel produit ou de telle méthode.

Il faut éviter de retenir les services d'un ingénieur conseil uniquement parce que sa soumission est la moins élevée. On doit tenir compte d'autres facteurs et notamment des éléments suivants:

1. Les réalisations passées et la réputaion de sa firme.
2. Les projets de même type qu'elle a réalisés.
3. Les références fournies pour des travaux du même genre.
4. Le programme des travaux qu'il propose pour votre projet.
5. L'échéancier des travaux.
6. Le chef de projet et son expérience.
7. La composition et l'expérience de l'équipe chargée des travaux.
8. Les garanties de qualité des travaux.
9. La connaissance des exigences du projet.
10. Le prix des services et les conditions de règlement.

Il est conseillé de rencontrer les consultants afin de pouvoir évaluer ces facteurs dans le détail. Il faut aussi leur demander de faire leurs offres de service par écrit. On veillera à vérifier avec soin les références. Dans la plupart des cas, les réalisations passées d'un consultant sont la meilleure indication du genre de performance à laquelle on peut s'attendre.

1.8 Financement des programmes de gestion énergétique

Il existe plusieurs moyens de financer ces programmes. Dans tous les cas, le programme doit comporter des procédures d'inspection (en vue de dresser le bilan énergétique), de mise en oeuvre et de contrôle. Si l'on néglige, par exemple, d'affecter les ressources financières et humaines nécessaires au contrôle énergétique, le suivi risque d'être médiocre et les mesures de gestion énergétique ne donneront pas les résultats escomptés.

Les modes de financement possibles sont décrits ci-dessous.

1. Budgets d'exploitation

Beaucoup de mesures peu coûteuses peuvent être financées à même les budgets d'exploitation. Les coûts énergétiques sont des dépenses d'exploitation et les économies d'énergie que l'on réalise peuvent donc servir à payer les mesures prises à cette fin. Les budgets d'exploitation ne prévoient en général pas de ressources financières pour les programmes de gestion énergétique. Mais quand la période d'amortissement est inférieure à un an, le budget d'exploitation devient une source possible de financement.

2. Budgets d'équipement

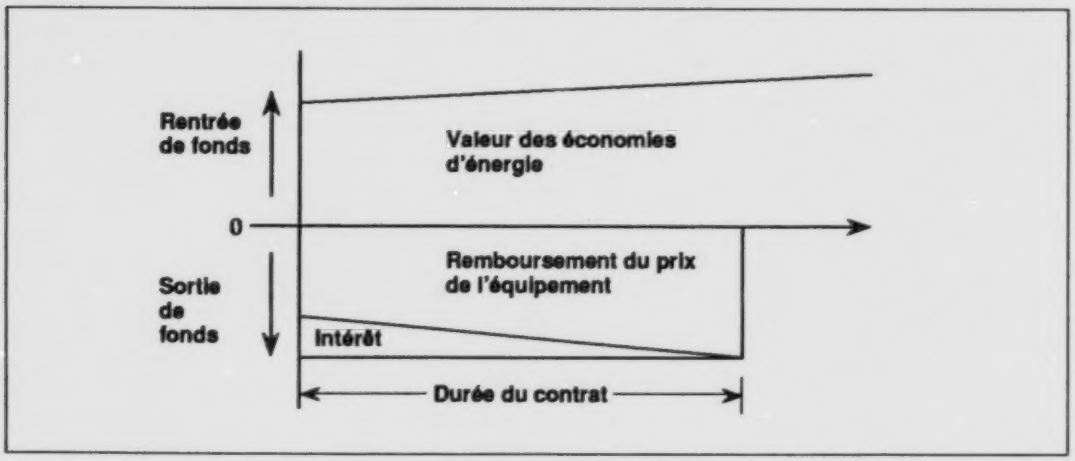
On peut aussi financer les mesures d'économies d'énergie à même les budgets d'équipement. Ces équipements sont généralement achetés en fonction de leur rentabilité. De plus, ils peuvent faire l'effet d'amortissement accéléré pour fins de fiscalité autant au niveau provincial que fédéral.

3. Le système du crédit-bail

On peut avoir recours à ce système pour financer les achats d'équipement destinés aux économies d'énergie. On prévoit alors des mensualités de crédit-bail dont la valeur est inférieure à celle des économies que l'on compte réaliser. Les contrats de crédit-bail n'entraînent pas d'effort financier immédiat sous forme de mise de fonds, mais ils exigent par contre le paiement de mensualités tout au long de la durée du contrat.

Figure 1.6

Flux de trésorerie dans le crédit-bail



Le flux de trésorerie figurant dans le diagramme ci-dessus est positif tout au long de la durée du contrat de crédit-bail parce que la valeur des mensualités est inférieure à celle des économies d'énergie. Le contrat peut d'ailleurs comporter des clauses par lesquelles le fournisseur de l'équipement s'engage à faire faire des économies d'énergie dont la valeur sera supérieure à celle des mensualités qu'il percevra. Il est à noter que l'inclusion de ce genre de clauses est devenue chose courante.

On distingue deux types de contrats: les contrats de location-acquisition et les contrats de location-exploitation. Les premiers représentent des conventions d'achat à tempérament; les seconds sont des contrats de service où le bailleur reste propriétaire de l'équipement, à moins de dispositions spéciales qui en prévoient l'achat à l'expiration du contrat.

4. Contrats de service

Le contrat de service permet de financer le coût en capital du projet par les économies d'énergie futures ou la réduction des coûts d'exploitation. La société de service se charge de la réalisation intégrale du projet, notamment des éléments suivants:

- étude de faisabilité;
- ingénierie;
- achat et installation de l'équipement;
- formation du personnel;
- entretien du matériel installé;
- gestion énergétique, suivi et contrôle des résultats.

La société de service fournit le capital, la main-d'oeuvre et le savoir-faire nécessaires à la réalisation des travaux. En contrepartie, elle partage les économies d'énergie pendant une partie du contrat dont la durée se situe en règle générale entre trois et sept ans.

Pour le gestionnaire ou l'exploitant du bâtiment, le contrat de service présente trois grands avantages:

1. Il n'exige aucune mise de fonds;
2. Il réduit au minimum les risques d'un mauvais rendement;
3. Il permet un transfert de technologie et assure la formation.

C'est la société de service qui prend tous les risques en s'engageant à réaliser les économies d'énergie prévues dans le contrat, tandis que le gestionnaire ou l'exploitant du bâtiment n'en court aucun, sauf peut-être en ce qui concerne la qualité des rapports qu'il entretient avec la société de service tout au long de la durée du contrat. Il importe enfin que figurent dans ce dernier des clauses précisant le niveau minimal de confort et de ventilation.

Le calcul des économies d'énergie se fait par rapport à une année de référence, qui doit être représentative de la consommation d'énergie du bâtiment. La comptabilisation des économies doit tenir compte des modifications survenues dans l'occupation et l'utilisation du bâtiment.

On distingue trois types de contrats de service:

1. Les contrats de partage des économies d'énergie

Ces contrats ont une durée fixe et prévoient le versement annuel à la société de service d'un pourcentage de la valeur des économies d'énergie réalisées.

2. Les contrats assimilables à des prêts

L'investissement est assimilé à un emprunt remboursable au moyen des économies d'énergie réalisées pendant le contrat. Si cet "emprunt" est remboursé avant l'échéance, la durée du contrat s'en trouve par le fait même écourtée.

3. Contrats de type dit "chauffage" (*)

Dans ce genre de contrats, la société de service acquitte elle-même les factures du fournisseur d'énergie et porte annuellement au compte du bâtiment un pourcentage de la consommation de l'année de référence. Ces contrats sont habituellement à durée fixe, mais le pourcentage susmentionné peut varier d'une année à l'autre.

Le choix d'une société de service exige les mêmes précautions que celui d'un ingénieur conseil. Il faut donc évaluer les éléments décrits à l'article 1.6, ainsi que les facteurs suivants:

- mesures à prendre en vue d'économiser l'énergie;
- travaux exécutés par la société dans des bâtiments analogues;
- méthodes de comptabilité énergétique et expérience;
- soutien local à l'entretien de l'équipement;
- droits de propriété de la société sur le matériel.

À long terme, les contrats de service présentent l'avantage de fournir une solution globale. La société de service aide à introduire le processus de gestion énergétique et assure en même temps la formation du personnel et le transfert de technologie.

(*) N.d.t.: En français dans le texte.

1.9 Évaluation des mesures de gestion énergétique

Lors de l'évaluation des mesures à retenir, il importe:

- d'étudier le bâtiment et ses systèmes mécaniques comme un tout;
- d'éviter les mesures qui s'attaquent aux symptômes et non pas aux causes des problèmes que l'on veut résoudre;
- de bien connaître les variables susceptibles d'influer sur le sens de certains termes ("peu coûteux" et "à amortissement rapide" en sont des exemples).
- de songer à la possibilité de les mettre en oeuvre en même temps que l'on exécute d'autres travaux.

Une fois que le bâtiment est construit et occupé, son enveloppe, ses occupants et son équipement mécanique fonctionnent comme un système complet. Et la moindre modification apportée à l'un de ces éléments pour économiser l'énergie risque de nuire aux autres et de ne pas produire les résultats escomptés. Par exemple, il ne sert à rien de stopper les ventilateurs d'alimentation en air si l'on est obligé de garder en marche les ventilateurs d'évacuation, car il faudra fournir de l'air d'appoint pour remplacer celui qui a été évacué. Et si l'on a arrêté les ventilateurs d'alimentation, cet air d'appoint sera fourni par infiltration incontrôlée à travers l'enveloppe du bâtiment. Comme il n'est pas chauffé avant d'arriver aux espaces occupés, il en résultera des courants froids.

Évitez de traiter les symptômes du gaspillage d'énergie et attaquez-vous plutôt à ses causes. Par exemple, avant d'installer un système de récupération thermique, veillez à réduire au minimum les pertes de calories à la source.

Évaluez le coût et la durée d'amortissement de chaque mesure en fonction du bâtiment auquel on la destine. Telle mesure qui se révèle économique pour un grand bâtiment risque de coûter trop cher dans le cas d'un bâtiment beaucoup plus modeste. De même, la durée d'amortissement de telle autre mesure peut varier sensiblement pour deux bâtiments identiques, car elle dépend du nombre et de l'efficacité des mesures qui y ont été mises en oeuvre antérieurement.

Songez à la possibilité de mettre en oeuvre les mesures d'économie d'énergie en même temps que l'on exécute d'autres travaux, qu'il s'agisse d'entretien régulier ou bien de réparations majeures, voire de remplacement et de modernisation de l'équipement.

1.10 Liste de contrôle

Pour commencer:

- Étudiez la structure hiérarchique et décisionnelle sur le plan de la gestion énergétique.
- Vérifiez vos programmes de contrôle: sont-ils en mesure de calculer les économies d'énergie avec précision?

Étapes:

- Votre bilan a-t-il déterminé la consommation d'énergie? A-t-on établi des seuils de performance et d'acceptabilité pour chacune des mesures à mettre en oeuvre? Sont-ils mesurables? Sont-ils pertinents et contrôlables? Peut-on les atteindre?

Mesure des consommations:

- Vérifiez et revérifiez les facteurs de conversion des unités de mesure dont vous faites usage dans les calculs.
- Accompagnez le releveur de compteurs et vérifiez l'exactitude de ses chiffres.
- Au début de chaque mois, veillez à remettre à zéro l'aiguille indicatrice de la puissance maximum appelée.
- Assurez-vous que le débit mesuré par les compteurs (gaz, eau, mazout, vapeur) se situe dans l'intervalle de justesse des mesures.

- Étalonnez, calibrez et réglez régulièrement les débitmètres de vapeur; assurez-vous que le diaphragme de mesure convient à la pression de la vapeur.

Comptabilité:

- Comptabilisez votre consommation actuelle d'énergie ainsi que son coût.
- Choisissez le tarif le plus économique, compte tenu de votre consommation.
- Lors des comparaisons avec les années antérieures, tenez compte des différences imputables aux variations d'ordre météorologique et à la longueur des périodes de facturation, ainsi que des autres variables, tel que décrit au chapitre 1.6.
- Étudiez les programmes d'économies d'énergie parrainés par le gouvernement ou les fournisseurs d'énergie: ils pourraient vous aider sur le plan technique ou financier.
- Étudiez d'autres possibilités de financement, par exemple celles qu'offrent les sociétés de service. Envisagez aussi les emprunts à faible taux d'intérêt et autres modes de financement.

ICE (Indice de consommation énergétique):

- Calculez cet indice pour la zone où l'énergie est effectivement consommée.
- Comparez les indices obtenus pour votre bâtiment avec ceux qui sont publiés dans les normes.

2.0
L'Enveloppe du Bâtiment

2.0 L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Introduction

L'enveloppe du bâtiment se compose du toit, du plancher, des murs, des fenêtres et des portes, c'est-à-dire de tout ce qui sépare l'intérieur du bâtiment de l'extérieur. Cette enveloppe remplit plusieurs fonctions:

- elle protège l'intérieur contre les éléments climatiques;
- elle permet à la lumière solaire d'entrer (par les fenêtres);
- elle assure, dans certains cas, le renouvellement de l'air par aération (fenêtres) et infiltration naturelles.

L'efficacité de l'enveloppe dépend de l'entretien de ses divers éléments, de la conception du bâtiment et de la qualité de sa construction.

Les systèmes mécaniques et l'énergie achetée ont pour rôle de combler la différence entre le niveau de confort que peut fournir l'enveloppe et celui dont ont effectivement besoin les occupants du bâtiment. On peut donc dire que la qualité de l'enveloppe est un facteur primordial de l'énergie consommée pour le chauffage en saison froide (ou la production de frigories par temps chaud), pour l'éclairage et pour la ventilation. C'est pourquoi, l'amélioration de l'enveloppe peut sensiblement réduire la demande d'énergie. Les infiltrations d'air à travers l'enveloppe sont souvent associées aux dégâts que provoque l'humidité dans les divers constituants du bâtiment. En veillant à la qualité de l'enveloppe, la gestion énergétique permet du même coup de résoudre les problèmes qui en réduisent la durée de vie, voire de les éviter.

On étudiera dans ce chapitre les causes des déperditions de chaleur à travers l'enveloppe, ainsi que les stratégies à mettre en oeuvre pour en améliorer la performance thermique.

2.2 Déperditions thermiques à travers l'enveloppe

L'énergie employée pour chauffer les locaux (en hiver) ou les refroidir (en été) est perdue par transfert de chaleur et par infiltration/exfiltration.

2.2.1. Transfert de chaleur

On appelle transfert de chaleur le passage de la chaleur à travers les murs, les fenêtres, les portes, le toit ou le plancher chaque fois qu'existe une différence entre la température intérieure et la température extérieure. Le transfert de chaleur se fait par trois processus naturels: convection, conduction et rayonnement.

- **La convection** est le transfert de chaleur au moyen d'un fluide en mouvement. Ainsi, l'air froid, en passant sur une surface chaude, absorbe des calories qu'il transportera pour les céder ensuite au contact d'une surface plus froide.
- **La conduction** est le transfert de chaleur qui se fait directement à travers un solide (bois, brique, placoplâtre, etc.).
- **Le rayonnement** est le transfert de chaleur qui se fait à partir d'une surface par des ondes électromagnétiques.

Les principaux facteurs qui influent sur le débit thermique, (c'est-à-dire sur la quantité de chaleur transférée par unité de temps) à travers l'enveloppe sont:

- la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur;
- la résistance thermique de l'enveloppe.

La quantité de chaleur transférée dépend surtout de ces deux facteurs et de la superficie de l'enveloppe.

Une enveloppe au rendement thermique médiocre provoque la surcharge de l'équipement mécanique de climatisation (chauffage et refroidissement). De plus, les surfaces froides et les apports solaires excessifs peuvent être sources d'inconfort et risquent de conduire à une utilisation inefficace de l'espace. Les éléments à mauvais rendement thermique, comme les fenêtres à vitrage simple, peuvent être le siège d'une condensation menant à la détérioration des revêtements avoisinants. Les points thermiquement faibles de l'enveloppe peuvent aussi contribuer à la dégradation des divers éléments constitutifs du bâtiment.

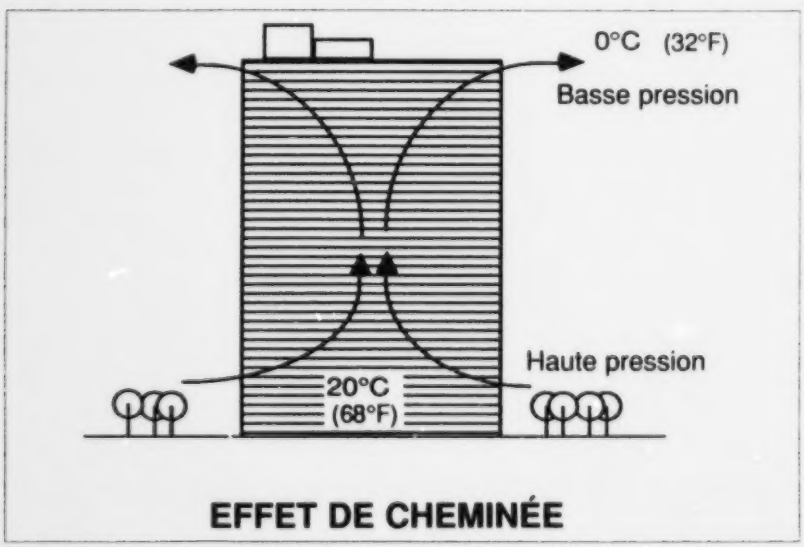
2.2.2. Infiltration et exfiltration

Ces termes désignent le passage de l'air à travers les fissures et les trous de l'enveloppe, sous l'effet d'une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. En règle générale, l'air passe des zones de surpression, dont les températures sont plus élevées, aux zones de dépression, dont les températures sont moins élevées. Les trois facteurs qui influent sur l'infiltration et l'exfiltration sont:

L'effet de cheminée

Par temps froid, l'air chaud monte vers les étages supérieurs du bâtiment et en sort par exfiltration; il est remplacé par de l'air froid, qui s'infiltre par le bas. On désigne ce phénomène par le terme "effet de cheminée". Le taux d'infiltration/exfiltration dépend de la hauteur du bâtiment, de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, ainsi que de l'étanchéité de l'enveloppe et des cloisons intérieures du bâtiment. Si l'on séparait totalement les moitiés supérieure et inférieure du bâtiment par une cloison parfaitement étanche, on aurait alors deux phénomèmes de cheminée distincts. Ce sont des tirages dits "locaux".

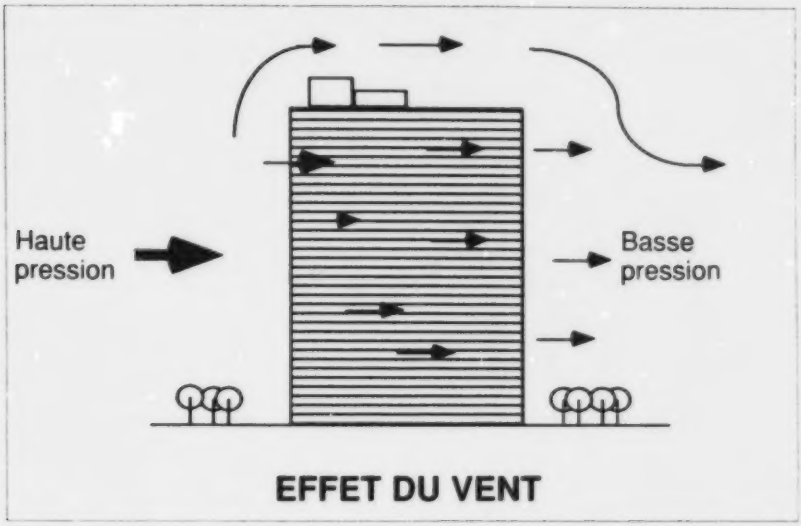
Figure 2.1



Le vent

Le passage du vent au-dessus ou autour d'un bâtiment influe sur le taux d'infiltration en créant une surpression en amont et une dépres- sion en aval. Le débit dépend de la configuration du bâtiment, de la force et de la direction du vent, ainsi que de l'étanchéité des murs extérieurs et des cloisons intérieures.

Figure 2.2



EFFET DU VENT

Les facteurs d'ordre mécanique

Les systèmes mécaniques du bâtiment peuvent influer sur les phénomènes d'infiltration/exfiltration, en raison de l'effet de cheminée résultant de l'air de combustion fourni aux appareils de chauffage, ainsi qu'à cause des systèmes de ventilation. Dans les petits bâtiments, où l'air de combustion ne provient pas de l'extérieur, il peut y avoir augmentation des taux d'infiltration et élévation du plan de pression neutre du bâtiment, ce qui risque d'être aggravé par l'emploi de ventilateurs d'évacuation; à la limite, le bâtiment se trouve en dépression et les appareils de chauffage ont alors des problèmes de contre-tirage.

Dans les grands bâtiments, l'air de combustion est pris à l'extérieur et envoyé directement au système de chauffage. C'est alors le système de ventilation qui peut influer sur les phénomènes d'infiltration/exfiltration. Ainsi, dans certains bâtiments, c'est l'infiltration naturelle qui permet le remplacement de l'air évacué par les ventilateurs, ce qui a pour effet d'élever le plan de pression neutre et risque de provoquer des courants d'air gênants aux étages inférieurs, sans compter la difficulté que l'on éprouve alors à ouvrir les portes des vestibules. D'autres bâtiments sont au contraire équipés de ventilateurs d'introduction d'air neuf et peuvent être mis en surpression. Il importe donc de régler les systèmes d'extraction de l'air de façon à optimiser la performance de l'enveloppe.

Les fuites d'air sont cause de condensation et de gaspillage d'énergie. La condensation peut accélérer la détérioration de l'enveloppe du bâtiment. Les signes les plus courants des méfaits de l'humidité sont l'effritement des briques, l'efflorescence (plaques blanches, crayeuses, sur les briques), l'érosion des joints de mortier et l'écaillage excessif de la peinture sur les revêtements extérieurs en bois. Lorsqu'il faut constamment réparer le plâtre ou le placoplâtre de tel ou tel endroit d'un bâtiment, c'est signe qu'il y a là des fuites d'air et de la condensation plutôt qu'une fuite d'eau.

Les fuites d'air sont également cause d'inconfort, car elles perturbent le fonctionnement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, sans compter qu'elles risquent d'entraver la lutte contre le bruit, le feu et la fumée.

2.3 Amélioration de l'enveloppe

Il existe deux moyens fondamentaux d'économiser l'énergie par modification de l'enveloppe:

- On peut réduire les phénomènes d'infiltration/exfiltration en augmentant l'étanchéité par le calfeutrage, l'installation de coupe-froid et de pare-vent, ainsi qu'en posant des fenêtres et des portes parfaitement étanches.
- On peut améliorer la performance thermique de l'enveloppe par une meilleure isolation de la toiture, des murs ou du plancher, ou bien par l'installation de fenêtres à double ou triple vitrage. Ces mesures permettent de réduire les déperditions thermiques par transfert de chaleur. Les mesures à prendre peuvent aussi être examinées en fonction de leur coût et de leur place dans le programme d'entretien et de réparation du bâtiment.
- Les mesures à coût nul ont trait à l'entretien ménager et aux modifications du mode d'utilisation du bâtiment.
- Les mesures à coût faible sont des améliorations susceptibles d'être intégrées dans le programme d'entretien normal du bâtiment.
- Les modifications majeures sont des mesures dont la rentabilité est maximisée par intégration dans la planification des grands travaux d'amélioration à entreprendre dans le bâtiment.

2.3.1 En premier lieu, augmenter l'étanchéité à l'air

Les mesures destinées à augmenter l'étanchéité à l'air pour réduire les phénomènes d'infiltration/exfiltration doivent en règle générale être mises en oeuvre avant celles qui visent à améliorer l'isolation, et ce, pour les raisons suivantes:

1. Elles sont plus rentables.
Grâce à la rapidité de leur amortissement, ces mesures sont plus rentaes si l'on ne tient compte que des coûts énergétiques.

2. Elles sont conformes aux règles de construction.
On ne doit jamais refaire l'isolation sans d'abord assurer l'étanchéité à l'air, car il est bien souvent difficile, sinon impossible, de rendre le bâtiment étanche une fois que l'isolant a été mis en place.

3. Elles allongent la durée de vie utile de l'enveloppe.
L'exfiltration fait pénétrer l'air tiède et humide dans les cavités des murs et des combles; il s'y refroidit, et la vapeur d'eau qu'il contient finit par se condenser, ce qui provoque la corrosion ou la pourriture des matériaux de construction. En arrêtant l'exfiltration, les mesures d'étanchéité à l'air permettent d'allonger la durée de vie utile de l'enveloppe.

Quelle que soit la méthode choisie, il importe de se rappeler que toute modification de l'enveloppe influe sur le fonctionnement de l'équipement mécanique. Ainsi, les mesures d'étanchement sont susceptibles d'augmenter le degré d'humidité à l'intérieur du bâtiment, ce qui provoque la condensation de la vapeur d'eau sur les vitrages des fenêtres et autres surfaces froides. Afin de dissiper l'humidité excessive, le système mécanique devra fournir un surcroît de ventilation.

Les mesures d'étanchement ont également pour effet de réduire l'infiltration qui est, dans certains bâtiments, source d'air neuf d'appoint. Dans ce genre de cas, il y a lieu de prévoir l'installation d'un ventilateur d'alimentation en air neuf si l'on veut que la qualité de l'air reste acceptable.

2.4 L'étanchéité à l'air

2.4.1 Importance des fuites d'air

Au cours des années soixante-dix, le Conseil national de recherches a publié des rapports décrivant les résultats d'essais effectués dans:

- huit immeubles de 10-20 étages;
- onze écoles différentes par la taille, l'âge et le type de construction de leurs bâtiments;
- divers supermarchés;
- six maisons de conception différente, construites durant les années cinquante.

L'une des plus importantes conclusions de ces essais indiquait que les déperditions thermiques dues aux fuites d'air représentaient entre 20 et 50% de la chaleur totale perdue par ces bâtiments.

Compte tenu de ce qui précède, il devient évident que le moyen le plus économique d'améliorer l'enveloppe consiste à en colmater les fissures. Celles-ci sont parfois aussi anciennes que la bâtiment lui-même ou bien se produisent au fil des ans, sous l'effet des phénomènes de tassement et de glissement que subissent les divers constituants du bâtiment.

2.4.2 Détection des fuites d'air

Pour déceler les fuites d'air, on inspecte la totalité du bâtiment en ayant recours à des moyens tels que:

- les tournées d'inspection;
- les essais de dépressurisation par ventilateur;
- la détection par thermographie infrarouge;
- les tests au crayon fumigène.

L'essai de dépressurisation consiste à évacuer l'air au moyen d'un ventilateur à grand débit et à circuler dans le bâtiment pour en découvrir les zones où se produisent des infiltrations d'air. Ce genre d'essai permet aussi de quantifier les infiltrations, donc de comparer l'étanchéité de l'enveloppe à celle de tel ou tel autre bâtiment.

La détection par thermographie infrarouge permet de déceler les fuites d'air. C'est une technique très utile pour le diagnostic des problèmes provoqués par l'exfiltration alliée aux phénomènes de condensation dans les murs.

Le crayon fumigène est le moins cher et le plus employé des moyens de détection. Vendu par la plupart des fournisseurs de matériel de sécurité, il permet de déceler les sources d'infiltration aussi bien que d'exfiltration.

2.4.3 Étancher par l'intérieur

Les bâtiments existants sont habituellement étanchés par l'intérieur, car cela:

- est plus commode et plus économique;
- permet de réaliser une étanchéité continue du côté chaud;
- facilite l'inspection et la réparation du matériau employé.

Dans la plupart des cas, il est plus facile et plus économique de réaliser l'étanchéité par l'intérieur. On peut en effet installer le matériau d'étanchéité par n'importe quel temps et incorporer ce travail dans le programme d'entretien normal du bâtiment.

Pour éviter la condensation, toujours nuisible pour les éléments de l'enveloppe, il faut que le système d'étanchéité à l'air soit continu, d'un bout à l'autre de l'enveloppe, et qu'il soit installé du côté chaud. Ce système peut comporter divers matériaux (tels que châssis de fenêtres et placoplâtre), à condition qu'ils forment un système d'étanchéité continu.

Le système d'étanchéité intérieur est en règle générale plus facile à examiner et à garder en bon état.

L'autre solution réside dans la modification complète de l'enveloppe par l'extérieur. On applique parfois un matériau d'étanchéité continu, un isolant ou un revêtement, notamment en cas de détérioration avancée de l'enveloppe et lorsque l'on doit tenir compte de facteurs d'ordre esthétique. Il est alors recommandé de demander conseil à des spécialistes.

2.4.4 Où doit-on étancher?

La surface intérieure de l'enveloppe peut avoir des trous, fentes ou fissures permettant les fuites d'air. L'étanchement est donc à envisager aux endroits suivants:

Joints
Bien souvent, ce sont les joints mur/toit qui permettent le passage de l'air. Mais il faut aussi songer aux joints entre matériaux dissemblables, souvent susceptibles de donner lieu aux fuites d'air.

Défauts des éléments de l'enveloppe
La fissuration des murs de fondation ou des revêtements intérieurs permet les fuites à travers les parois et favorise les déperditions thermiques par convection de l'air dans les murs.

Portes et fenêtres
Les joints des murs avec les châssis des portes et des fenêtres, ainsi que le périmètre des fenêtres ouvrantes et des portes, sont susceptibles de laisser filtrer l'air. En outre, les défauts des vitrages et des vantaux peuvent être d'importantes sources de déperdition thermique.

Pénétrations mécaniques
Veiller à étancher toutes les pénétrations mécaniques dans l'enveloppe. On examinera à cette fin le passage des câbles, tuyaux et conduits divers à travers l'enveloppe, sans oublier les gaines techniques destinées aux fils électriques, à la plomberie et aux vide-ordures.

Bâtiments en bois
Comme ailleurs, il faut ici assurer l'étanchéité des portes, fenêtres et pénétrations mécaniques, mais aussi celle des joints entre cloisons intérieures et plafonds, ainsi qu'entre chevêtres et seuils.

L'étanchement de la totalité de ces joints peut être coûteux. Si l'on veut avant tout réduire la consommation d'énergie, il faut commencer par boucher les plus gros "trous" de la façon la plus économique. C'est pourquoi, il faut s'occuper en premier de l'étanchement des joints toit/mur, des fenêtres et des portes, qui posent des problèmes évidents, mais faciles à résoudre.

Il faut aussi s'occuper en priorité des fuites qui provoquent la condensation et conduisent à la détérioration du bâtiment. Au besoin, on consultera des spécialistes qui analyseront ces problèmes et proposeront les modifications qui s'imposent.

2.4.5 Matériaux d'étanchéité

Les matériaux ci-après, généralement économiques et faciles à installer, sont employés dans la plupart des endroits aisément accessibles:

1. Mastics, enduits d'étanchéité, etc.
2. Matériaux de calfeutrage: bourrelets, étoupes, etc.
3. Mousses: polyuréthanes à un ou deux constituants.

Il y a lieu d'ajouter à cette liste les matériaux sous forme de plaques rigides (placoplâtre, contreplaqué et plaques métalliques) ou de feuilles souples (polyuréthane, feutre et tissus divers) que l'on emploie dans certains cas, notamment pour boucher de grandes ouvertures ou étancher des surfaces poreuses. On traite ci-après en détail de chacun de ces matériaux.

1. Mastics et enduits d'étanchéité

Outre les questions normalement soulevées par l'utilisation de ces produits (durabilité, couleur, facilité d'emploi, coût, aptitude à être peints, etc.), celle de l'odeur est capitale. En effet, la plupart d'entre eux contiennent des solvants dont l'odeur finit toutefois par disparaître assez vite après application. Certains produits ont cependant une odeur tenace. D'autres, incolores au départ, jaunissent avec le temps. Dans la plupart des cas, on peut éviter ce genre de problème en employant les produits incolores. Dans le cas des grosses fissures, on doit employer les enduits avec des baguettes d'appui.

2. Calfeutrage

La durabilité est la première des qualités à rechercher dans les produits destinés au calfeutrage des portes en acier et celles des bâtiments à usage commercial. L'expérience montre que les produits résistants (à section en V) installés sur les jambages durent plus longtemps que les matériaux compressibles montés sur les butées; de plus, ils conservent l'étanchéité même en cas de déformation des portes. Le calfeutrage du bas des portes doit se faire de chaque côté et être examiné annuellement.

Il existe des systèmes de calfeutrage pour tous types de fenêtres. Cette mesure est généralement rentable et économique. Le remplacement des fenêtres ou l'installation d'un vitrage supplémentaire sont choses souvent difficiles à justifier en invoquant les économies d'énergie susceptibles d'être réalisées. L'amélioration des fenêtres existantes peut se faire au moyen de divers produits, dont toute une variété de plastiques à extruder, de garnitures formables in situ, de caoutchoucs à alvéoles fermés et de mousses plastiques. Ces produits sont utilisables seuls ou sous forme de combinaisons les plus diverses.

3. Mousses

Les grandes ouvertures, comme les joints entre murs et toit ou les pénétrations mécaniques (canalisations, tuyaux, gaines, etc.), peuvent être vite colmatées avec de la mousse de polyuréthane. Ce produit se décompose lorsqu'il est exposé à l'action de la lumière solaire directe. Il faut donc l'en protéger et veiller à respecter les normes de construction locales et provinciales. Dans la plupart des cas, on devra recourir à un entrepreneur compétent pour faire exécuter les travaux d'installation de ce type de matériaux.

2.5 Isolation

2.5.1 Avantages

L'augmentation du rendement thermique de l'enveloppe réduit les besoins en calories ou en frigories et améliore le confort des occupants et l'utilisation de l'espace en éliminant les courants d'air et les points froids. Les mesures d'économies d'énergie permettent également d'éviter de graves dégâts en corrigeant les défauts susceptibles de provoquer la détérioration des éléments constitutifs des bâtiments.

De nombreuses mesures d'économies d'énergie applicables à l'enveloppe sont coûteuses et difficilement justifiables si on les évalue indépendamment et uniquement sur le plan des coûts énergétiques et des avantages découlant de leur réduction. Les grands travaux de modification de l'enveloppe peuvent néanmoins se révéler très rentables lorsqu'on les intègre dans les travaux prévus au programme d'entretien du bâtiment.

On peut ainsi effectuer les grandes modifications de l'enveloppe à l'occasion:

- du remplacement de certains éléments du bâtiment tels que toiture et vantaux de fenêtres;
- des grands travaux de réparation de l'enveloppe nécessités par l'endommagement de certains éléments du bâtiment;
- des grands travaux de rénovation du bâtiment.

2.5.2 Le bilan énergétique avant toute chose

Le bilan énergétique complet du bâtiment donne en quelque sorte l'image thermique de l'enveloppe et indique les zones où les déperditions thermiques sont les plus importantes et les besoins en frigories les plus élevés. Cette image thermique est déterminée par la taille, la forme et l'âge du bâtiment, ainsi que par le type de construction. Lors de l'étude des possibilités d'amélioration de l'enveloppe, il importe de tenir compte:

- de l'état des éléments constitutifs de l'enveloppe, des zones nécessitant de grands travaux de réparation ou de remplacement;
- des travaux prévus au programme de rénovation;
- des facteurs découlant de l'occupation du bâtiment, tels que les besoins en lumière du jour, les sources d'humidité excessive (par exemple les piscines);
- de la valeur du bâtiment dans le patrimoine culturel.

2.5.3 Planification

Chaque partie de l'enveloppe offre des possibilités d'amélioration thermique, mais impose aussi des contraintes qui lui sont propres. Dans l'étude de ces diverses possibilités, il importe de se rappeler qu'il est capital de toujours prévoir l'installation d'un bon pare-vapeur et d'un élément continu d'étanchéité à l'air. Nous décrirons ci-dessous quelques-unes des parties faisant couramment l'objet de travaux d'amélioration thermique.

Fondations

L'isolation des fondations n'est à conseiller que pour les bâtiments et ensembles de petite taille, aux sous-sols chauffés. Il est préférable d'isoler par l'extérieur, travail qu'il est efficace d'exécuter en même temps que l'imperméabilisation des fondations. Au besoin, on peut en même temps installer des systèmes de drainage périphérique ou améliorer ceux qui existent.

Murs

La modification des murs exécutée en même temps que leur ravalement est le moyen le plus pratique d'assurer leur isolation, étant donné la facilité avec laquelle on peut installer le matériau con-

tinu d'étanchéité à l'air. Ainsi, dans le cas des bâtiments à usage commercial, non isolés et comptant peu d'étages, il est avantageux d'isoler les murs de maçonnerie par l'extérieur et de leur appliquer un matériau d'étanchéité à l'air et un revêtement tout neuf.

L'amélioration des murs fournit l'occasion d'augmenter ou de réduire la surface du fenêtrage de façon à mieux combler les besoins de lumière ou de chaleur. La réduction de cette surperficie a eu d'heureux résultats dans les vieux bâtiments, tandis que certains établissements plus modernes, conçus au départ pour ne recevoir que de la lumière artificielle, ont pu bénéficier de l'installation de nouvelles fenêtres.

Fenêtres

Voici quelques-unes des mesures applicables aux fenêtres:

- remplacement des châssis et vantaux;
- remplacement des vantaux seulement;
- amélioration des vantaux par addition d'un vitrage;
- installation de doubles fenêtres à l'intérieur ou l'extérieur;
- installation d'un vitrage teinté et de stores intérieurs ou extérieurs afin de réduire la charge de refroidissement.

Même si l'on ne procède pas à la transformation totale des murs, on peut réduire le fenêtrage en installant des fenêtres plus petites incorporées dans des panneaux à encastrer.

Combles et toits

Dans le cas des bâtiments à usage d'habitation, à toit en pente, l'isolation des combles est une solution relativement simple et efficace. On doit toutefois veiller à poser un pare-vapeur du côté chaud de l'isolation ainsi qu'un matériau continu d'étanchéité à l'air.

Dans le cas des grands bâtiments à toit horizontal, il est plus facile de procéder aux travaux d'amélioration lors de la réparation ou du remplacement de la toiture.

2.6 Liste de contrôle

Les lignes qui suivent donnent un résumé récapitulatif des principales mesures d'amélioration de l'enveloppe. Les numéros affectés aux différentes sections correspondent à ceux des zones représentées dans la figure 2.3.

Fondations

1. Colmater les fissures et fentes du mur de fondation et celles des pénétrations mécaniques (dans les bâtiments en bois, assurer également l'étanchéité du joint chevêtre/seuil).

2. Dans le cas des sous-sols chauffés, isoler les murs de fondation.

Murs

3. Étancher les joints de construction comme:

- les joints mur/toit (et les dénivellations du toit);
- les joints avec les ajouts au bâtiment;
- les colonnes de paroi;
- les joints mur/plancher;
- les pénétrations poutre/ferme;
- les joints au mortier;
- les joints entre panneaux;
- les joints entre matériaux dissemblables;
- les joints de dilatation.

Dans les bâtiments en bois, assurer également l'étanchéité:

- des plinthes;
- des cloisons intérieures et des plafonds;
- des pénétrations dans les combles;
- du joint chevêtre/seuil.

4. Étancher les fissures et fentes des éléments de l'enveloppe.

5. Étancher les pénétrations mécaniques telles que:

- les câbles, canalisations et tuyaux divers;
- les interrupteurs électriques et les prises;
- les cheminées de chaudière et les évents;
- les périmètres et les portes des chaufferies alimentées en air neuf par des gaines indépendantes;
- les volets d'aérage (alimentation et évacuation) et les pare-fumée des cages des ascenseurs et des escalier;
- les gaines techniques pour le passage des câbles et des tuyaux de plomberie, ainsi que celles des vide-ordures.
- les dispositifs d'éclairage encastrés dans les plafonds.

6. Améliorer les murs par l'adjonction d'isolants, de pare-vapeur et de matériaux d'étanchéité à l'air.

Fenêtres et portes

7. Tenir les fenêtres fermées durant la saison de chauffage, ainsi que pendant la saison chaude dans le cas des bâtiments climatisés.

Si les occupants ouvrent les fenêtres durant la saison froide, il convient de prendre les mesures suivantes:

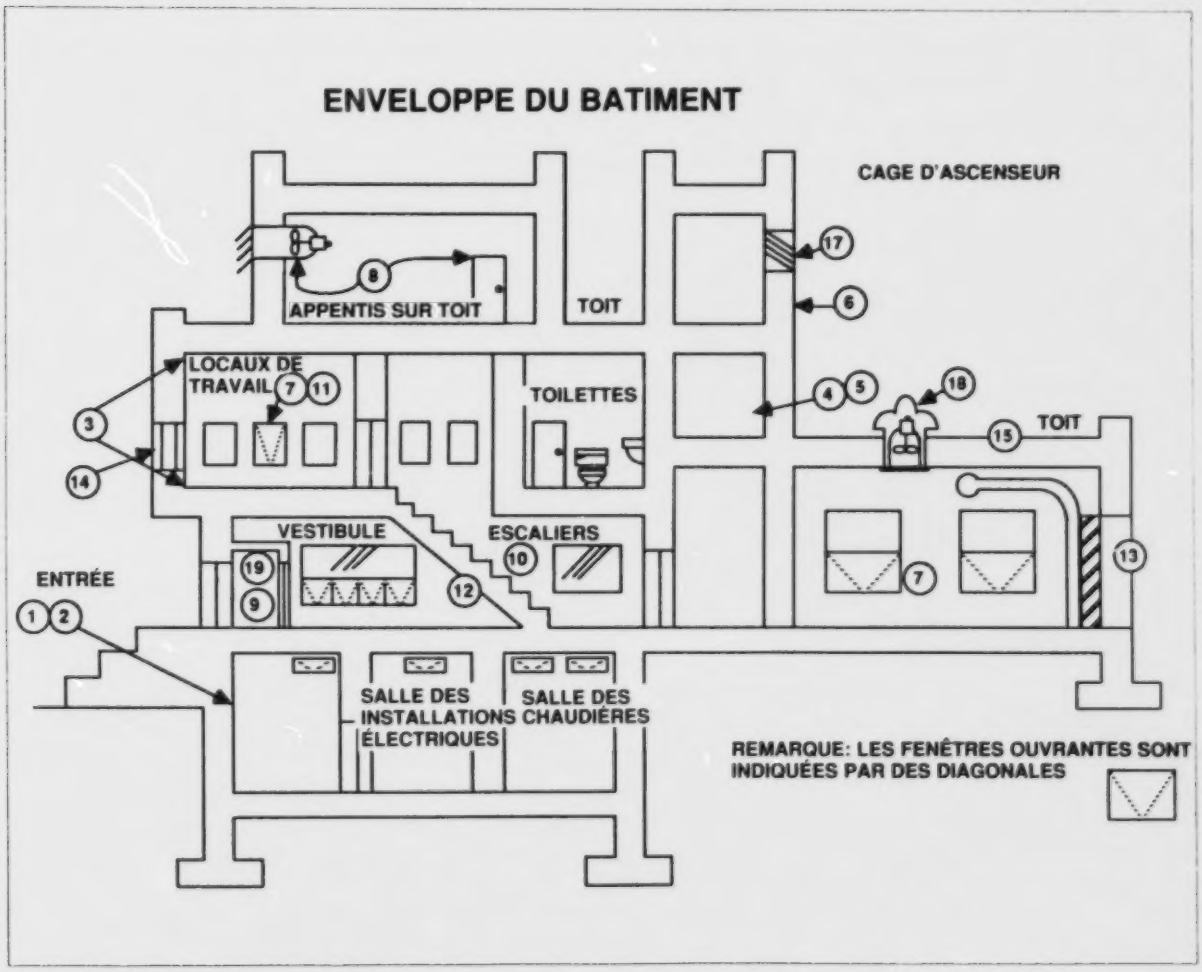
- Éliminez l'excès de chaleur régnant dans les locaux de travail:
- en installant des stores et des pellicules réfléchissantes;
- en améliorant la régulation thermique du système de chauffage;

- en augmentant les taux de ventilation.
- Organisez des programmes visant à inciter les occupants à fermer les fenêtres à la fin de la journée de travail;
- Entendez-vous avec le personnel d'entretien ménager pour qu'il ferme les fenêtres et laisse des notes de rappel aux postes de travail concernés.

8. Réduire l'exfiltration au sommet du bâtiment en veillant à étancher toutes les ouvertures.
   - Portes et fenêtres doivent être étanches à l'air.
   - Les ventilateurs d'évacuation ayant une surface supérieure à 0,1 m_ doivent être équipés de registres à commande par moteur.

Remarque: Lorsque les locaux situés sur le toit doivent être munis d'un évent en raison de l'équipement de combustion qui s'y trouve, il convient d'étancher les portes intérieures qui donnent accès à ces locaux.

Figure 2.3



9. Réduire l'infiltration au rez-de-chaussée.

- Remplacer le matériau de calfeutrage de l'entrée principale dès les premiers signes d'usure ou d'endommagement.
- Si les portes extérieures sont difficiles à étancher, calfeutrez les portes intérieures du vestibule d'entrée.
- Régler les fermetures automatiques des portes (leur lenteur a pour effet d'augmenter les infiltrations d'air).
- Régler la taille et la longueur du vestibule d'entrée de façon à réduire au minimum le risque d'ouverture simultanée des portes extérieures et intérieures.

10. Escaliers

Calfeutrer les portes des cages d'escalier et s'assurer que les registres des ventilateurs d'évacuation des fumées des cages sont à fermeture étanche et conformes aux normes locales.

11. Réduire l'infiltration sur le pourtour des fenêtres. Pour étancher les fenêtres ouvrantes:

- remplacer les matériaux de calfeutrage en mauvais état;
- supprimer le jeu des panneaux;
- remplacer les matériaux d'étanchéité défectueux autour des châssis, sous les rebords, etc.

12. Les fenêtres ouvrantes des entrées et zones de circulation doivent être calfeutrées durant la saison de chauffage. Ce calfeutrage sera fait de l'intérieur, avec un matériau amovible.

13. Améliorer les portes des garages.

- Éviter l'ouverture des portes des garages aux piétons.
- Calfeutrer avec des matériaux résistants et boucher toutes les fentes.
- Limiter l'ouverture à la hauteur maximale des véhicules et réduire la largeur au moyen de rideaux latéraux flexibles.
- Régler le temps d'ouverture au minimum nécessaire au respect des normes de sécurité (c'est-à-dire une vingtaine de secondes).
- Si l'ouverture de la porte est fréquente (100 fois par semaine ou davantage), envisager la régulation des temps d'ouverture et de fermeture au moyen de boucles magnétiques installées dans le sol.
- Lorsque deux portes se trouvent aux extrémités opposées du garage, installer un dispositif qui empêche leur ouverture simultanée.

14. Améliorer le fenêtrage par le remplacement des fenêtres en mauvais état, par l'emploi de doubles vitrages et par l'installation de doubles fenêtres et de stores. Envisager aussi la réduction de la surface des fenêtres et condamner celles qui sont devenues inutiles.

Toits

15. Réduire les déperditions thermiques des toits non ventilés en améliorant l'isolation lors de leur réfection.

16. Réduire les déperditions thermiques des toits ventilés en les isolant, en posant un pare-vapeur et en installant des matériaux d'étanchéité à l'air. (Mesure non illustrée dans la figure).

Systèmes mécaniques

17. Cage d'ascenseur

Munir de registres d'évacuation des fumées les ouvertures situées au sommet de la cage d'ascenseur et veiller à ce qu'ils soient conformes aux normes locales. Régler le thermostat de la salle d'ascenseur à une température supérieure à celle du bâtiment, afin d'éviter le fonctionnement continu du ventilateur d'évacuation durant les mois d'hiver.

18. Ventilateurs d'évacuation

Installer des registres pour empêcher la fuite de l'air chaud hors du bâtiment lorsque les ventilateurs sont arrêtés.

19. Équilibrage de la pression de l'air du bâtiment

Vérifier le système de ventilation pour éviter la formation de zones de surpression ou de dépression excessive. Prendre les mesures qui s'imposent pour régler les débits d'air neuf ou d'air évacué. Au besoin, consulter un spécialiste.

3.0
Exploitation et Entretien

3.0 EXPLOITATION ET ENTRETIEN

3.1 Introduction

Un programme d'entretien rigoureux et bien géré permet de réduire les coûts énergétiques, car le matériel bien entretenu donne un meilleur rendement et consomme moins d'énergie.

Le mauvais entretien des systèmes électriques et des systèmes de chauffage, de refroidissement et de ventilation provoque à long terme une augmentation des coûts, entre autres du coût des temps morts qu'entraînent les réparations, du coût des travaux de réparation et du coût énergétique d'exploitation de l'équipement, attribuable à la médiocrité des rendements d'un matériel mal entretenu.

Ce chapitre montre en quoi les bonnes procédures d'exploitation et d'entretien sont complémentaires d'un programme de gestion énergétique bien conçu. De façon plus précise, ce chapitre étudie les questions d'exploitation et d'entretien des systèmes suivants:

- Chauffage
- Refroidissement
- Ventilation
- Traitement de l'eau
- Éclairage

Ce chapitre donne des renseignements de base sur les questions générales d'exploitation et d'entretien et sur leurs relations avec la consommation d'énergie. Il décrit également les bonnes méthodes de gestion à cet égard. Les chapitres suivants étudient les mesures susceptibles d'améliorer le rendement énergétique.

3.2 Contrôles et tableaux de fonctionnement

Pour être efficace, la gestion énergétique doit s'intégrer aux activités quotidiennes, et toutes les procédures d'exploitation doivent être efficaces sur le plan énergétique.

Le contrôle de la consommation d'énergie facilite la gestion des installations et permet de déceler à temps les problèmes et d'en éviter l'aggravation. Le contrôle ne se limite pas cependant à la consommation énergétique. Il consiste aussi à surveiller l'exploitation du bâtiment, son entretien et ses systèmes de contrôle. Pour avoir une gestion énergétique efficace, le responsable du bâtiment doit bien connaître ce dernier, ainsi que ses systèmes et sa consommation d'énergie.

L'emploi de tableaux de fonctionnement et de procédures d'exploitation bien documentées est un élément essentiel de la gestion énergétique, et il importe d'en élaborer pour chaque bâtiment.

Les procédures d'exploitation courantes ayant trait à l'entretien général et à l'inspection comportent des moyens spécifiques de gestion efficace du bâtiment.

L'emploi de tableaux de fonctionnement fait partie des procédures courantes. Ces tableaux:

- Permettent d'enregistrer la performance des systèmes;
- Donnent lieu à l'inspection fréquente des systèmes;
- Permettent de déceler les problèmes, car ils enregistrent les variations de fonctionnement ou de rendement énergétique qui en résultent;
- Fournissent une base pour l'évaluation des mesures d'économies d'énergie sur le plan de l'efficacité et de la rentabilité.

Il n'est pas nécessaire d'avoir un tableau de fonctionnement pour chacun des appareils du bâtiment. Dans beaucoup de cas, il suffit de se fier aux opérations normales d'entretien. Dans le cas des grands appareils, les tableaux doivent permettre l'enregistrement des renseignements importants, et les opérateurs doivent connaître la signification de chacune des données qu'ils y inscrivent. La figure 3.1 est un exemple de tableau de fonctionnement destiné à un système de traitement de l'air. Les tableaux de fonctionnement doivent en règle générale indiquer les renseignements suivants: date, heure d'inscription des données au tableau, état de l'appareil (c'est-à-dire s'il est en marche ou bien arrêté), paramètres de fonctionnement (température, pression, temps de fonctionnement en heures, etc.), commentaires divers, travaux exécutés et nom (ou initiales) de la personne ayant consigné les données au tableau.

Figure 3.1

TABLEAU DE MARCHE **FICHE N° _____**

Systèmes de traitement de l'air

Ventilateur d'alimentation	Température de l'air évacué	Température du mélange d'air	Température de l'air de retour	Résistance du filtre	Pompe de pulvérisation	Date	Par

* indiquer la date de remplacement du filtre

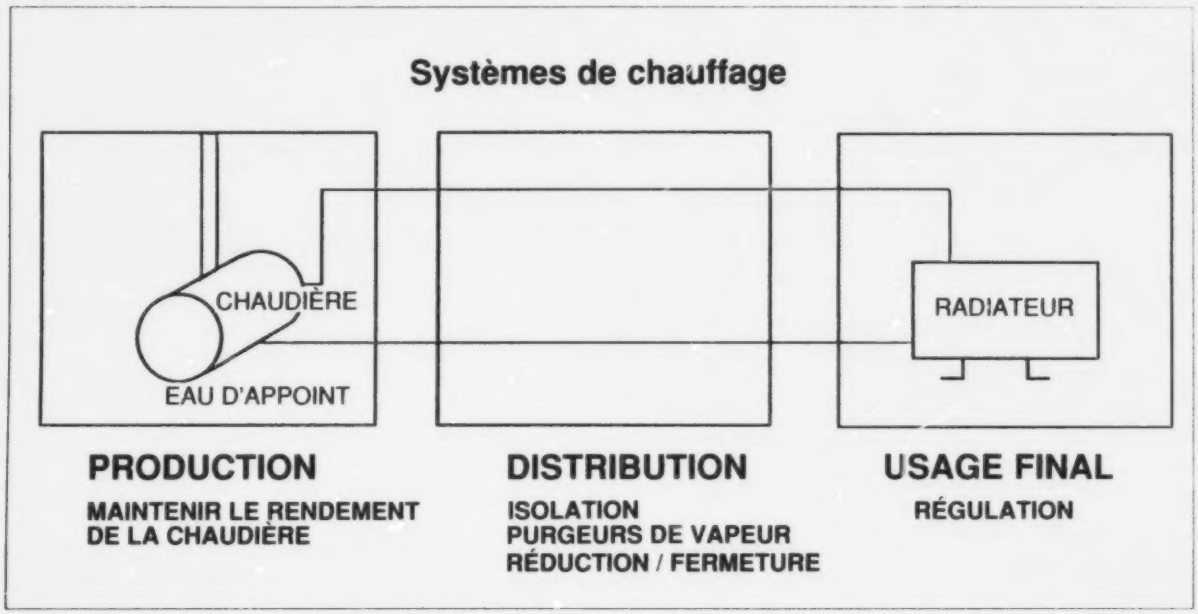
3.3 Entretien et fonctionnement du système de chauffage

Les systèmes de chauffage se composent de trois grands éléments:

- l'équipement de production (la chaudière par exemple);
- l'équipement de distribution (comme la tuyauterie d'alimentation et de retour);
- l'équipement d'usage final (le matériel de chauffage proprement dit et ses dispositifs de régulation).

La figure 3.2 illustre ces trois éléments.

Figure 3.2



Il est indispensable d'entretenir régulièrement ces trois éléments pour que le système de chauffage ait un bon rendement énergétique.

Un entretien irrégulier risque de réduire le rendement de la chaudière, de provoquer des déperditions thermiques excessives dans le système de distribution de chaleur et de nuire au fonctionnement des appareils de chauffage et à leur régulation.

3.3.1 Chaudières

Le rendement de la chaudière est révélé par la température et la composition des gaz de combustion, qui indiquent le rapport air/ combustible au brûleur, principal paramètre influant sur le rendement de la combustion.

L'air de combustion

Un mauvais réglage de l'air de combustion nuit au rendement de la chaudière. À cet égard, l'insuffisance d'air est en général plus nuisible que l'excès, notamment parce que:

- le rendement de la combustion subit une baisse;
- l'encrassement par la suie réduit le transfert thermique;
- il y a risque d'évacuation incomplète ou de refoulement de gaz de combustion toxiques et potentiellement explosifs.

C'est pour éviter ces problèmes que les préposés aux chaudières ont l'habitude d'utiliser un excès d'air de combustion.

Sauf s'il est voulu, l'excès d'air réduit le rendement de la chaudière à cause de plusieurs facteurs. Il importe que le préposé à la chaudière en soit conscient et qu'il règle l'équipement de la chaudière pour compenser les effets de l'excès d'air. Les facteurs susmentionnés sont décrits dans la liste ci-dessous.

- Il se peut que la commande du brûleur soit mal réglée.
- La modification de la masse spécifique de l'air ambiant de la chaufferie sous l'effet de la température, de la pression et/ou de l'humidité relative extérieure peut provoquer un excès d'air.
- L'usure de la timonerie peut entraîner un "relâchement" des systèmes de régulation de la combustion.
- La composition du combustible (ou sa qualité) a été modifiée, mais on n'a pas réglé le brûleur en conséquence.
- Il y a lieu de procéder à l'entretien du brûleur.
- La viscosité est mal réglée. Son réglage se fait par régulation de la température du combustible dans le réservoir (cette remarque ne s'applique qu'au mazout no 6).
- Il y a mauvais réglage (ou fonctionnement) du système de régulation de l'atomisation destinée à la fourniture de vapeur ou d'air aux brûleurs.

C'est donc par une constante surveillance et un réglage régulier que le préposé à la chaudière réussira à maintenir le rendement optimal du système.

Il est utile d'envisager l'achat de matériel de contrôle du rendement de la combustion. Les produits disponibles vont des matériels peu coûteux pour tests manuels (chimiques) jusqu'aux appareils de contrôle électroniques sophistiqués. On choisira le matériel en fonction de la taille de la chaudière et du budget de chauffage. Dans le cas des très grandes chaudières, il est bon d'envisager l'installation de systèmes permanents de contrôle permettant des lectures instantanées.

Purge des chaudières

Pour maintenir un rendement élevé, il est essentiel de conserver la qualité de l'eau des chaudières. Lors de la production de vapeur dans une chaudière, il importe de se débarrasser continuellement de certaines impuretés (solides) présentes dans l'eau. On le fait au moyen d'une soupape de purge, qu'il convient de toujours bien régler.

S'il y a constamment demande d'eau d'appoint, c'est sans doute à cause des fuites de vapeur, de la défaillance des purgeurs de vapeur, des mises à l'air excessives ou des déversements de condensat, choses qui ont toutes pour effet de réduire le rendement du système de chauffage.

Plus on augmente la quantité d'eau d'appoint, plus il faut purger la chaudière.

Si le réglage de la soupape de purge ne permet pas une évacuation suffisante, il y a risque d'accumulation de dépôts boueux dans la chaudière, ce qui réduit le transfert thermique et le rendement global du système. Par contre, si le réglage de la soupape de purge est tel qu'il entraîne une évacuation excessive, des calories sont envoyées dans l'égoût; en d'autres termes, on perd de la chaleur. Et il faudra augmenter la quantité d'eau d'appoint et celle des produits chimiques que l'on introduit dans le système.

Consultez un spécialiste du traitement de l'eau de chaudière pour déterminer la composition optimale que doit avoir celle de votre système. Contrôlez le pourcentage de solides présents dans l'eau

de purge, ainsi que tout autre paramètre utile à la détermination de la qualité de l'eau. Vous serez ainsi en mesure de maintenir la qualité optimale de l'eau et de réduire au minimum la quantité d'eau d'appoint nécessaire au remplacement de l'eau de purge.

3.3.2 Entretien de la tuyauterie de distribution

Pour réduire au minimum les déperditions thermiques du système de chauffage, il importe d'entretenir avec régularité la tuyauterie de distribution. Font partie de cet entretien l'inventaire des constituants du système, ainsi que la documentation relative à l'état dans lequel ils se trouvent.

Dans les chaufferies, l'entretien des purgeurs de vapeur est la première chose à faire en vue de réduire les déperditions thermiques. Des purgeurs qui fonctionnent mal sont en effet une importante cause de gaspillage de calories. La défaillance des purgeurs peut être due à diverses raisons. Dans tous les cas, il importe de s'attaquer aux problèmes du système de production de vapeur, surtout si la fréquence des défaillances est élevée et se répète aux mêmes endroits. L'encrassement, la corrosion, les coups de bélier et le gel sont quelques-unes des causes de défaillance des purgeurs de vapeur.

3.3.3 Équipement d'usage final

Cet équipement comprend les radiateurs à vapeur et à eau chaude, ainsi que les serpentins de chauffage des unités de ventilation. Les causes de gaspillage d'énergie sont ici les soupapes qui fuient (ou sont bloquées en position d'ouverture) et les défauts de fonctionnement des dispositifs de régulation et de commande, toutes choses qui posent souvent des problèmes de confort dans les locaux chauffés. En entretenant bien l'équipement d'usage final on évite d'y gaspiller des calories.

3.4 Fonctionnement et entretien du système de refroidissement

Le matériel destiné au condionnement de l'air doit être entretenu avec régularité si l'on veut qu'il soit efficace sur le plan de la consommation énergétique. L'entretien du système de refroidissement doit comporter l'inspection périodique des serpentins de réfrigération (par eau froide ou bien par détente directe), leur dégivrage et leur désencrassage, car les accumulations de givre et l'encrassement provoquent la réduction des taux de transfert thermique, réduisent la circulation de l'air et sont causes d'inconfort et de gaspillage d'énergie. Il faut aussi inspecter périodiquement les soupapes et dispositifs de régulation du système de refroidissement pour qu'il fonctionne avec efficacité.

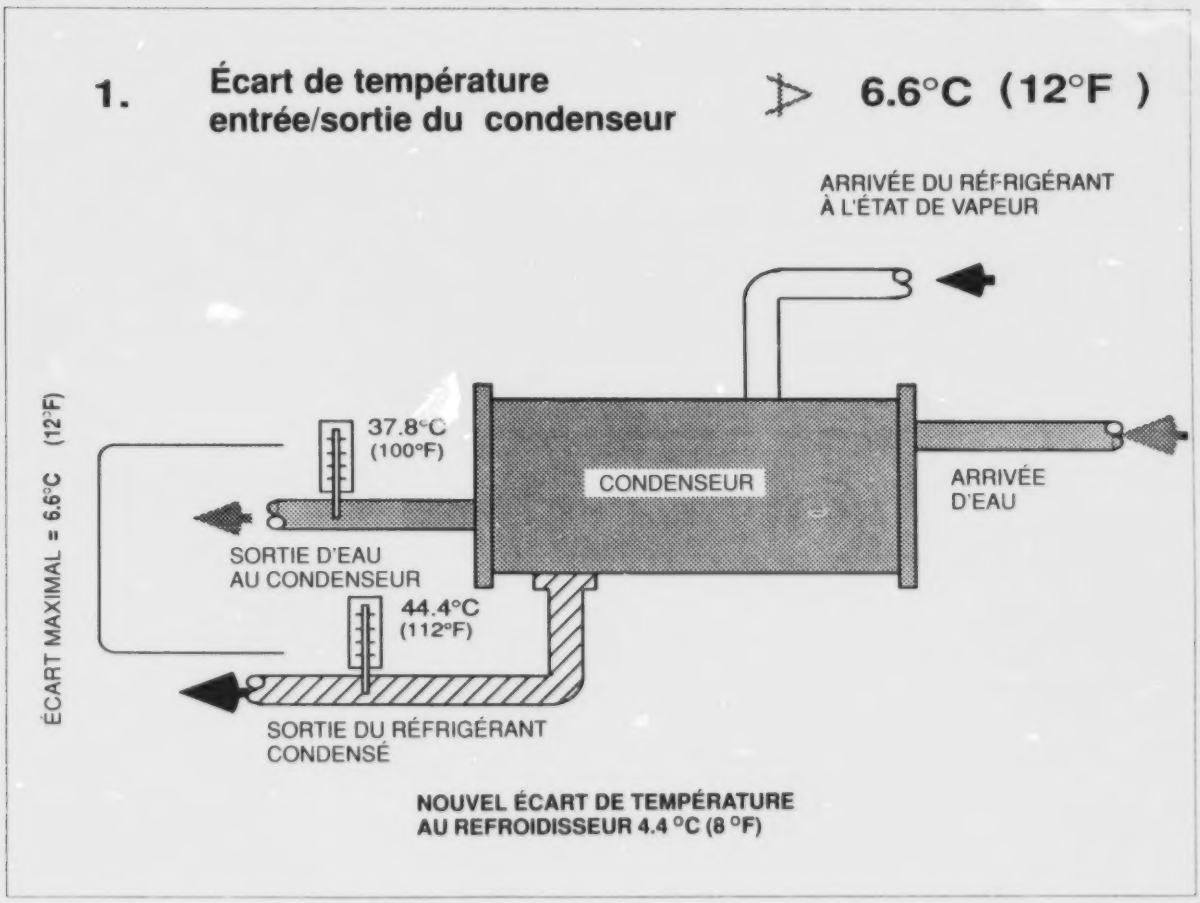
Installations frigorifiques centrales

Dans ces installations, le contrôle de diverses températures fournit d'importants renseignements qui permettent de maintenir l'efficacité énergétique et de déceler les problèmes d'entretien.

Les figures 3.3 à 3.5 montrent les températures qu'il importe de contrôler, donnent leur signification ainsi que l'intervalle dans lequel il est souhaitable de les maintenir lorsque l'installation fonctionne à pleine charge.

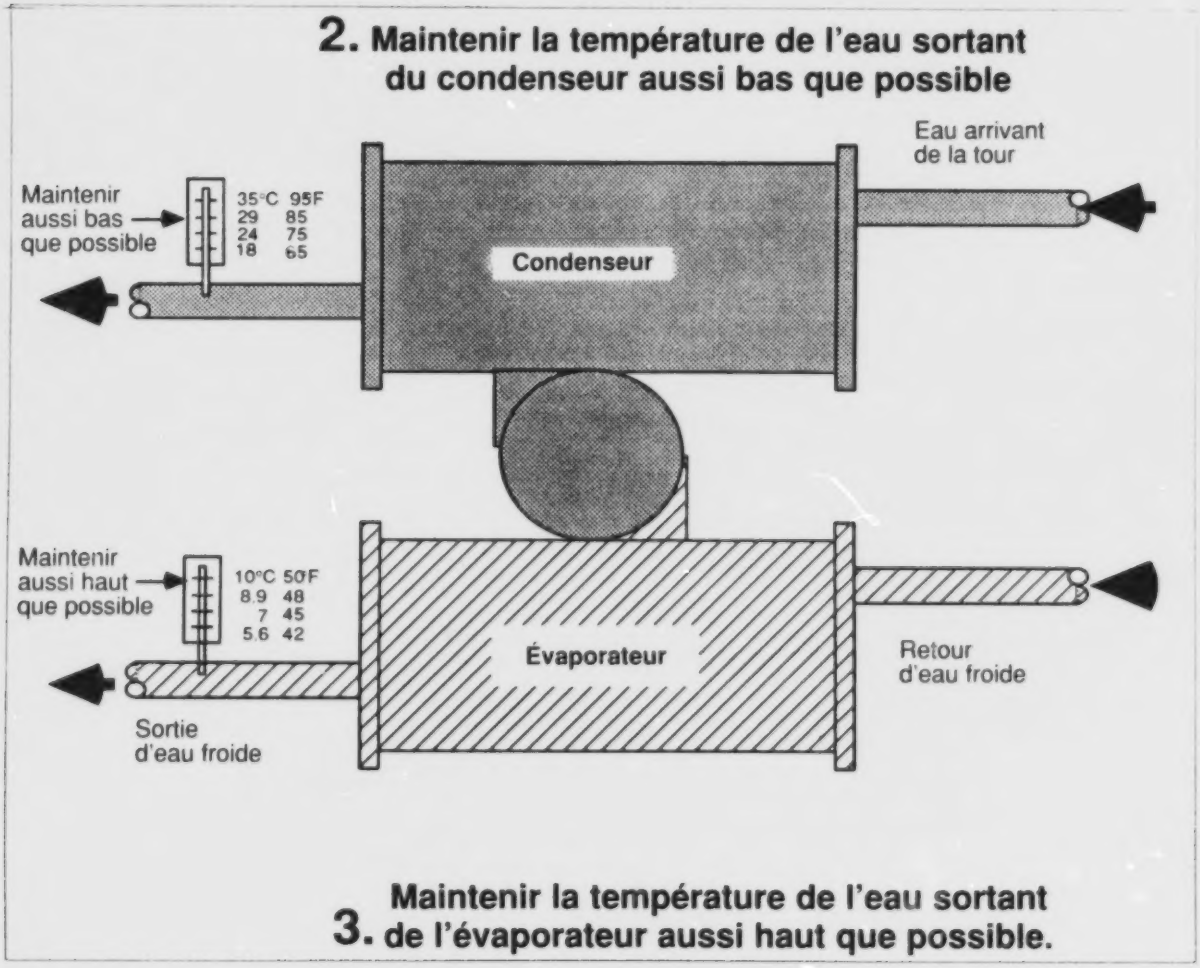
Pour que l'installation fonctionne avec efficacité énergétique, la différence entre la température du réfrigérant condensé et celle de l'eau à la sortie du condenseur ne doit pas être supérieure à 6,6 °C (4,4 °C dans le cas d'une installation neuve).

Figure 3.3



La température de l'eau sortant du condenseur doit être maintenue aussi bas que possible de l'eau sortant de l'évaporateur aussi haut que possible.

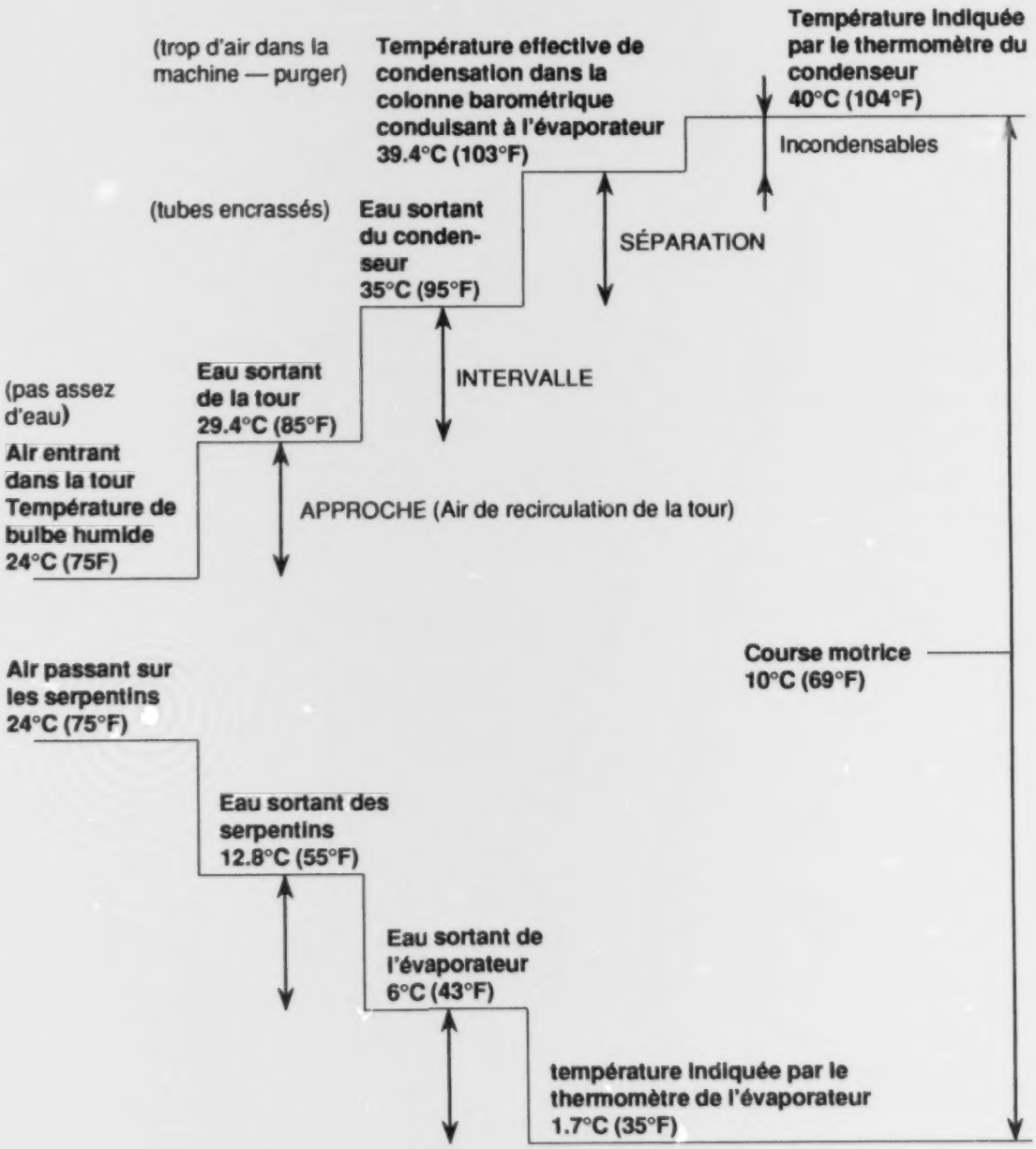
Figure 3.4



D'autres températures indiqueront que les surfaces de transfert thermique sont encrassées et qu'il convient de les nettoyer, ou bien qu'il y a trop d'air (ou d'eau) dans le réfrigérant et que l'on doit purger l'évaporateur. Ces phénomènes ont pour effet de réduire le rendement de l'évaporateur et d'augmenter les coûts énergétiques.

Figure 3.5

PROFIL DES TEMPÉRATURES D'UN REFROIDISSEUR CENTRIFUGE FONCTIONNANT À PLEINE CHARGE



3.5 Fonctionnement et entretien du système de ventilation

Les systèmes de ventilation peuvent être d'importants facteurs de consommation et de gaspillage énergétiques, directement aussi bien qu'indirectement. Le fonctionnement des ventilateurs consomme directement de l'énergie, tandis que le chauffage, le refroidissement et/ou l'humidification de l'air neuf en consomment de façon indirecte. Cette consommation indirecte peut constituer l'une des plus importantes charges énergétiques dans un bâtiment. C'est une chose que l'on est enclin à ne pas remarquer, justement parce qu'elle n'est pas évidente.

3.5.1 Registres d'admission de l'air

L'introduction permanente d'air neuf, au débit de 1 litre/seconde, a pour effet d'augmenter de un ou deux dollars la facture annuelle du chauffage (selon le combustible employé). Le réglage du débit d'air neuf se fait au moyen de registres, qui sont en général mal entretenus, parce que situés dans des endroits très difficiles à atteindre. C'est pourquoi on oublie souvent de les inspecter et de les entretenir. Pour régler ce problème, il suffit de munir les gaines de portes de visite ou bien de déplacer les registres.

Il convient de vérifier périodiquement les registres, car leur efficacité et leur état sont directement liés à la fréquence d'usage. Le fonctionnement d'un registre est en général commandé par un dispositif comportant un moteur qui permet d'en régler l'ouverture.

Les lames des registres, souvent faites avec de la tôle de faible épaisseur, finissent à la longue par se déformer. Le corps du registre est également fragile et susceptible de se déformer dans certains cas, ce qui rend d'autant plus difficile le réglage du dispositif et finit par entraîner la défaillance du moteur si le mouvement de la lame a été troPlongtemps entravé par cette déformation.

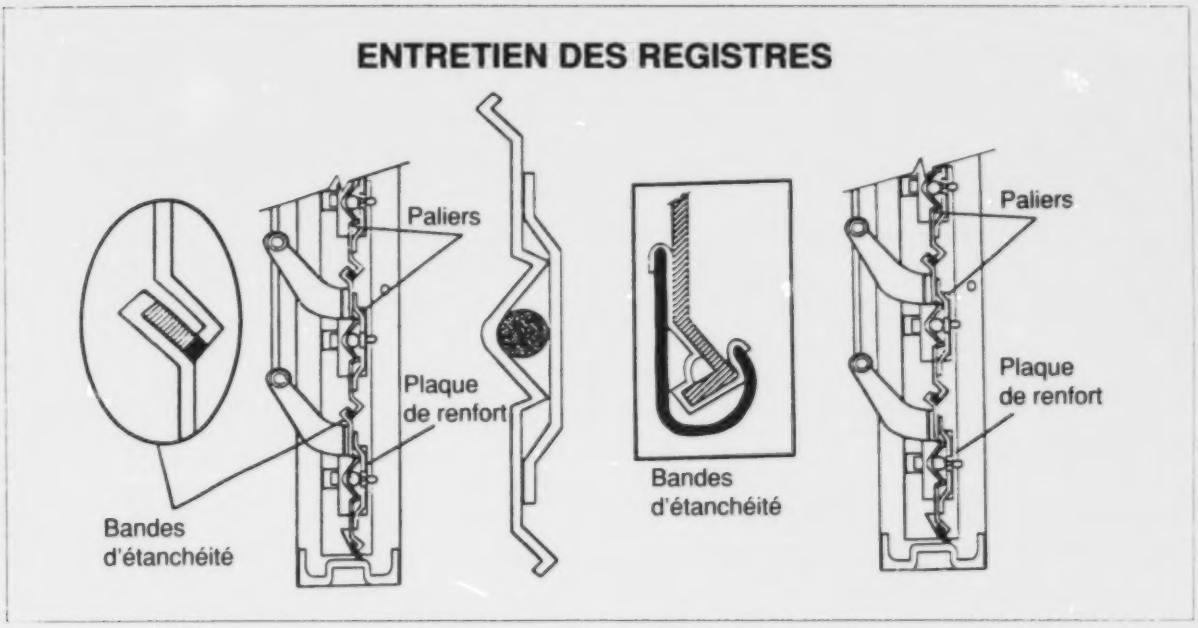
Même en bon état, les registres ne ferment pas hermétiquement. Pour réduire l'infiltration de l'air entre les lames et le corps des registres, on pose des bandes d'étanchéité sur le périmètre des lames ainsi qu'entre leurs extrémités et le corps du registre.

La figure 3.6 montre deux exemples d'application des bandes d'étanchéité aux lames de registre.

La défaillance des moteurs et le blocage des timoneries peuvent amener les registres à demeurer ouverts en permanence, au lieu de se mettre en position d'ouverture minimale par temps froid ou de fermer lorsque les locaux sont inoccupés. L'inspection régulière des registres et leur entretien, durant l'hiver surtout, réduisent au minimum les répercussions fâcheuses de ce genre de problèmes sur la consommation d'énergie.

Lorsque les registres servent à réguler le mélange d'air neuf et d'air recyclé, il importe d'en connaître les caractéristiques et de bien régler leurs dispositifs de commande.

Figure 3.6



3.5.2 Équilibrage de l'air

Pour être sûr d'un apport suffisant d'air neuf, vérifiez régulièrement le rapport air neuf/air recyclé.

Lorsqu'on néglige l'entretien du système de traitement de l'air, la distribution de l'air dans les différentes zones du bâtiment en est souvent perturbée, ce qui est cause d'inconfort pour les occupants, lesquels réagissent, dans la plupart des cas, en modifiant le réglage des thermostats ou en ouvrant les fenêtres, choses qui nuisent toutes deux à la ventilation des autres parties du bâtiment et ont aussi pour effet d'augmenter la consommation totale d'énergie. Ce genre de déséquilibre provoque un apport excessif d'air que l'on doit ensuite conditionner, c'est-à-dire chauffer, humidifier ou refroidir.

La mesure des débits de l'air et son équilibrage doivent être faits périodiquement, notamment après un réaménagement des zones du bâtiment ou une modification des charges intérieures. On peut confier ce travail à des entrepreneurs spécialisés, dont la compétence doit au préalable être vérifiée par le responsable du bâtiment, qui demandera les références nécessaires à cette fin.

3.5.3 Filtres

Il est également important de bien entretenir les filtres si l'on veut que le système de traitement de l'air fonctionne efficacement sur le plan énergétique. C'est pourquoi il convient de procéder régulièrement au remplacement des filtres ou à leur nettoyage, dont la fréquence doit dépendre de la rapidité avec laquelle ils s'encrassent.

Le colmatage des filtres n'augmente pas directement la consommation d'énergie, mais une perte de charge de 10% due au colmatage a pour effet de réduire d'environ 15% le débit d'air et d'augmenter d'à peu près 10% la puissance absorbée par les ventilateurs. La réduction du débit d'air peut être cause d'un important déséquilibre du système de ventilation, ce qui incommode les occupants et les pousse à ouvrir les fenêtres et à modifier le réglage des thermostats.

3.5.4 Entretien des humidificateurs

Les humidificateurs mal entretenus augmentent la consommation d'énergie en maintenant une humidité supérieure à celle qui est nécessaire. Les dispostifs de régulation de l'humidité peuvent également entraîner une surconsommation d'énergie s'ils ne sont pas régulièrement étalonnés.

La médiocrité de l'entretien ou son irrégularité risquent de provoquer le fonctionnement des humidificateurs tout au long de l'été, ce qui entraîne une forte surconsommation d'énergie due au refroidissement et à la déshumidification qu'il devient nécessaire de mettre en oeuvre.

L'équipement d'humidification peut poser des problèmes de santé, car certains humidificateurs créent un environnement favorable à la croissance de micro-organismes pathogènes. Il importe donc que les procédures d'entretien tiennent compte de cette question.

Serpentins d'humidification

Ces serpentins doivent être régulièrement inspectés. On enlève à cette fin quelques-unes des plaques d'élimination et l'on dirige un puissant faisceau de lumière sur le côté opposé du serpentin, ce qui permet de déceler un encrassement éventuel. L'encrassement peut également être révélé par une importante modification de la différence de pression statique entre l'entrée et la sortie du serpentin.

Les serpentins à pulvérisation doivent être lavés avec un détergent et de l'eau sous pression élevée (500 psi). Pour être efficace, le lavage doit se faire des deux côtés du serpentins, ce qui exige l'enlèvement des plaques d'élimination.

Pour combattre avec succès la corrosion, il faut recourir à un bon programme de traitement de l'eau, notamment afin d'éviter l'encrassement des serpentins à pulvérisation. De plus, l'emploi d'un biocide contenant un sel d'ammonium quaternaire est essentiel. En effet, un bon biocide supprime les odeurs et réduit au minimum l'accumulation des bactéries. Il est conseillé de consulter un spécialiste de l'entretien des systèmes d'humidification pour choisir le type de traitement qui convient le mieux à votre installation.

3.6 Traitement de l'eau employée dans les systèmes de chauffage, ventilation et conditionnement d'air

Un programme efficace de traitement de l'eau doit maintenir le système en bon état de propreté et le protéger contre l'entartrage et la corrosion. Un système entartré transmet mal la chaleur et réduit le rendement énergétique de l'ensemble du réseau de distribution de l'eau. Un bon système doit être nettoyé à l'intérieur et à l'extérieur. En effet, la formation d'une couche de tartre de l'épaisseur d'un billet de banque, sur la surface intérieure ou extérieure d'un élément de transfert thermique, peut provoquer une augmentation de 10% des coûts énergétiques du bâtiment. Il faut donc constamment inspecter et entretenir le système pour qu'il reste en bon état de propreté et consomme le moins d'énergie possible.

3.6.1 Ventilo-convecteurs

L'eau circule à faible vitesse dans un ventilo-convecteur et y favorise ainsi le dépôt des produits de la corrosion, lesquels ont alors pour effet de réduire l'efficacité du serpentin, en régime de chauffage aussi bien que de refroidissement.

Pour déceler la présence des produits de la corrosion dans un gros ventilo-convecteur, il est nécessaire d'évacuer un peu d'eau par le bas du collecteur de l'appareil. Si l'eau contient un dépôt noir de nature magnétique, on en conclut que des produits de la corrosion sont présents dans le système et qu'ils risquent de réduire le transfert thermique dans le serpentin. Une autre méthode d'inspection consiste à vérifier les températures du serpentin (au niveau des coudes en U) à l'aide d'un thermomètre à contact.

Dans le cas d'un système tout neuf, il convient de commencer par un bon nettoyage pour éliminer les traces d'huile et de débris de construction, puis d'ajouter un inhibiteur de corrosion, tel que du nitrite de bore, dont on maintiendra la concentration entre entre 600 et 800 ppm, ce qui permet de protéger le système sans nuire à la robinetterie et aux dispositifs de commande et de régulation. Ce type d'inhibiteur empêche la corrosion des métaux dissemblables (cuivre et acier), principale cause des dépôts noirs d'oxyde de fer magnétique que l'on trouve dans les systèmes de chauffage et de refroidissement qui n'ont pas été traités.

L'un des meilleurs moyens d'enlever l'oxyde de fer produit par la corrosion dans un système de recirculation consiste à y installer (en dérivation, à divers endroits) des filtres à cartouche de 30 microns. Outre qu'ils servent au nettoyage, ces filtres donnent des renseignements sur le fonctionnement du système. En effet, la modification des dépôts qui se forment sur le filtre est en général révélatrice de problèmes. C'est pourquoi, il est bon d'intégrer l'examen régulier de ces filtres dans le programme d'entretien préventif.

L'emploi d'éprouvettes pour essais de corrosion est également très utile pour surveiller l'état du système. Ce sont de petites lames (en cuivre ou acier) préalablement pesées que l'on place dans le système pendant un temps déterminé et que l'on examine pour y déceler les signes de corrosion éventuels. L'emploi de ces lames est hautement recommandé.

3.6.2 Eau des tours de refroidissement

Le traitement de cette eau constitue la plus importante dépense, car la production de froid par évaporation dans la tour provoque une forte perte, que l'on doit compenser par de l'eau d'appoint pour éviter la formation de tartre dans les tubes du condenseur de l'installation frigorifique.

Il convient d'utiliser à cette fin des inhibiteurs de corrosion et des produits chimiques destinés à empêcher l'entartrage. Allié à l'emploi de faibles concentrations de chlore (0,02 ppm) et à l'usage de filtres, ce traitement permet de maintenir les tubes dans un état de propreté permanent, qui n'exige aucun brossage. C'est un avantage non négligeable, car les tubes d'un condenseur tout neuf ont une épaisseur de paroi inférieure à 0,75 mm, et leur brossage, même soigneux, risque de les endommager.

3.6.3 Systèmes d'eau chaude à usage domestique

Certains constructeurs ont utilisé, pendant de nombreuses années, des tuyaux en fer galvanisé dans les systèmes d'eau chaude à usage domestique. Les fortes teneurs en oxygène de l'eau et sa température élevée sont très corrosives pour ce type de tuyaux. Au bout de quelque temps, la corrosion finit par produire des accumulations de matière qui réduisent le diamètre intérieur des tuyaux et diminuent le débit et le transfert thermique, de sorte que l'on est amené à accroître la température de l'eau pour compenser les effets de ces réductions.

Il importe par conséquent de surveiller de près la température de l'eau chaude à usage domestique afin d'éviter l'entartrage excessif de la tuyauterie. Il convient de procéder régulièrement à la purge et au détartrage des systèmes pour améliorer le transfert thermique de l'échangeur de chaleur.

3.7 Fonctionnement et entretien du système d'éclairage

Il est indispensable de bien entretenir le système d'éclairage pour maintenir de bons niveaux d'éclairement. Un programme d'entretien efficace ne comporte pas uniquement le remplacement des lampes, mais aussi le nettoyage régulier des appareils d'éclairage et des locaux. Un tel programme présente à long terme des avantages appréciables, car il permet:

- d'obtenir plus de lumière par unité d'électricité consommée;
- d'installer des lampes de plus petite puissance;
- de réduire le nombre des appareils d'éclairage;
- de réduire le coût total de la main-d'oeuvre.

La fréquence optimale des opérations d'entretien est déterminée en fonction des coûts en capital, des coûts de la main-d'oeuvre et des coûts énergétiques d'exploitation.

Les lampes fluorescentes commencent à donner des signes d'usure de plus en plus fréquents à partir du moment où elles atteignent 70% de leur durée de vie utile. Et la quantité de lumière qu'elles fournissent diminue à mesure qu'augmente le nombre total d'heures durant lesquelles elles sont restées allumées. Dans la plupart des installations, c'est lorsque les lampes ont atteint en moyenne 65 à 75% de leur durée de vie utile qu'il est le plus indiqué de procéder à leur remplacement par groupes. Le programme de remplacement le plus économique doit être déterminé en fonction du coût des lampes et de la main-d'oeuvre de chaque installation.

Dans beaucoup de cas, le remplacement par groupes peut être fait au moment des grands travaux de nettoyage, ce qui permet de réaliser d'importantes économies de main-d'oeuvre. Par exemple, si ces travaux se font durant la fermeture annuelle coïncidant avec la période des vacances, on peut procéder au remplacement par groupes tous les deux ou trois ans, selon la durée moyenne d'utilisation des lampes.

Pour déterminer le moment où il convient de procéder au remplacement par groupes, on a recours à la méthode commode que voici: on achète un lot supplémentaire de lampes représentant 10% du nombre usuel, et l'on emploie ces lampes pour des remplacements individuels. Quand ce stock de 10% tombe à un niveau assez bas, c'est signe qu'il est temps de procéder au remplacement par groupes. Le remplacement par groupes permet de réaliser des économies de main-d'oeuvre et de réduire les défaillances susceptibles de se produire dans les ballasts et les démarreurs. On sait en effet que les ballasts ne sont pas à l'abri des surchauffes et qu'il arrive aux démarreurs de se bloquer lorsque l'on ne remplace pas rapidement les lampes très vieilles ou défectueuses. Le remplacement des lampes fluorescentes par des lampes consommant moins d'énergie peut se faire de façon ponctuelle ou bien à l'occasion des travaux de remplacement par groupes.

Il est déconseillé d'employer les lampes fluorescentes à faible consommation d'énergie dans les locaux où la température est susceptible de descendre au-dessous de 16 °C, car les basses températures risquent de faire vaciller la lumière, de diminuer l'éclairement, de décolorer les extrémités des lampes et d'en réduire la durée de vie.

Dans le cas des dispositifs à deux lampes par ballast, on ne doit pas installer une lampe de faible puissance et une lampe normale sur le même ballast, car le déséquilibre des tensions et des courants peut entraîner la défaillance précoce des lampes.

Il est déconseillé d'installer des lampes de faible puissance sur des ballasts de plus d'une quinzaine d'années, car elles peuvent provoquer leur défaillance. Si les défaillances des ballasts sont fréquentes, c'est signe qu'ils sont trop vieux et qu'il est temps de les remplacer.

4.0
Systèmes de Chauffage

4.0 SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

4.1 Introduction

Les édifices publiques et bâtiments à usage commercial emploient des systèmes de chauffage très divers. Ce chapitre décrit quelques systèmes types, ainsi que les mesures qui leur sont applicables dans le cadre d'un progamme de gestion énergétique. On n'abordera pas ici les améliorations coûteuses dont l'amortissement s'étend sur de nombreuses années, mais uniquement les mesures ayant trait à l'entretien d'ordre général et les améliorations à faible coût en capital.

Il n'y a pas lieu de lire ce chapitre d'un bout à l'autre. Consultez-en plutôt les sections qui s'appliquent au type d'équipement de chauffage dont vous avez la responsabilité. Si possible, faites la tournée de votre système en ayant le présent chapitre sous les yeux.

Ce chapitre se compose de six sections:

- Brûleurs
- Installations à eau chaude
- Installations à vapeur
- Systèmes de distribution d'eau chaude
- Systèmes de distribution de vapeur
- Systèmes à air pulsé

4.2 Rendement

Le programme de gestion énergétique vise avant tout à maximiser le rendement énergétique de tous les systèmes. On explique dans la présente section quelques-uns des termes utilisés lorsqu'on parle de rendement. On appelle rendement le rapport entre la quantité d'énergie fournie et la quantité d'énergie utilisable. L'installation de chauffage d'un bâtiment se compose d'éléments divers dont chacun transmet de la chaleur et a donc son propre rendement. On trouvera dans ce qui suit les définitions de certains termes.

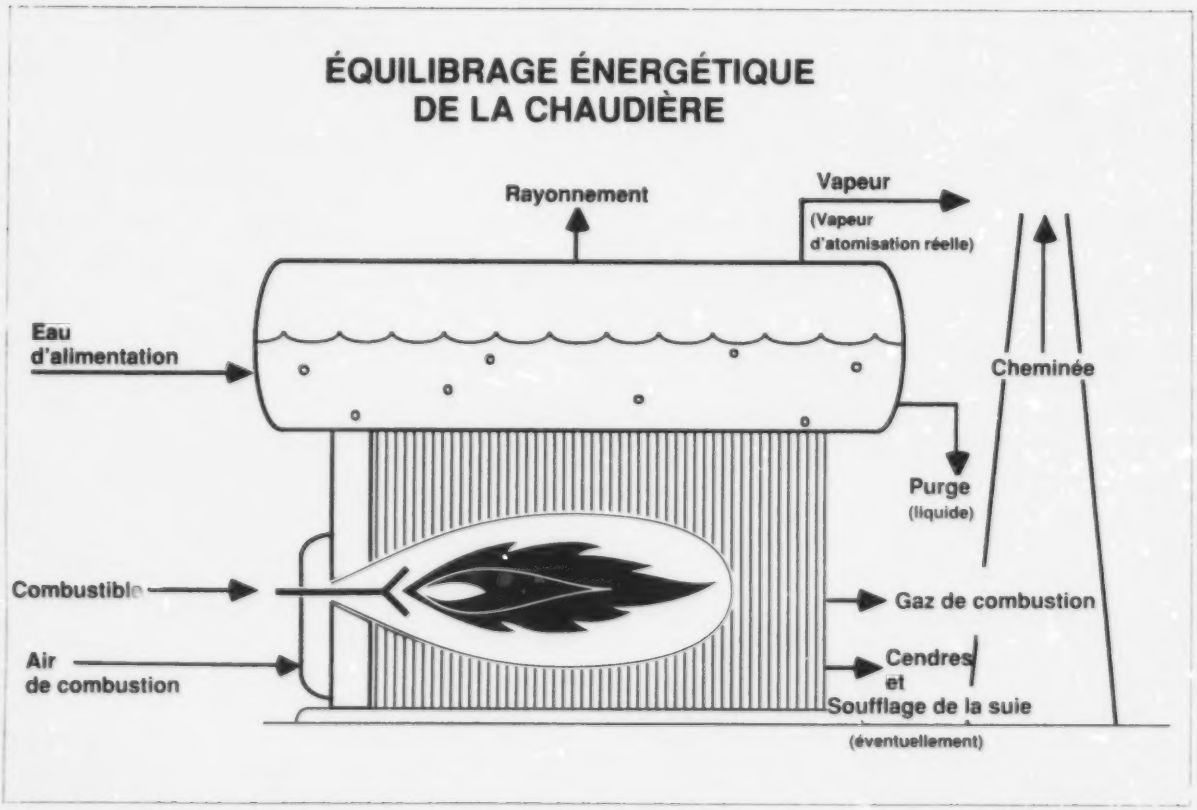
4.2.1 Rendement total de combustion

Ce rendement est égal au rapport entre l'enthalpie du combustible (c'est-à-dire la quantité d'énergie qu'il contient) entrant dans le brûleur et la quantité d'énergie fournie au système de distribution de la chaleur. C'est la résultante de deux rendements: celui du brûleur et celui du transfert thermique de la chaudière. Le rendement total de combustion est une valeur instantanée reliée au rendement du système à tel ou tel moment. En règle générale, on ne doit le mesurer qu'en période de marche en régime stable.

Le rendement total de combustion est influencé, entre autres, par les facteurs suivants:

- propreté des surfaces de transfert thermique (côté flamme et côté eau);
- rendement du brûleur;
- température des gaz de combustion;
- quantité et température de l'air de combustion;
- caractéristiques de construction du brûleur, de la chaudière et du carneau.

Figure 4.1

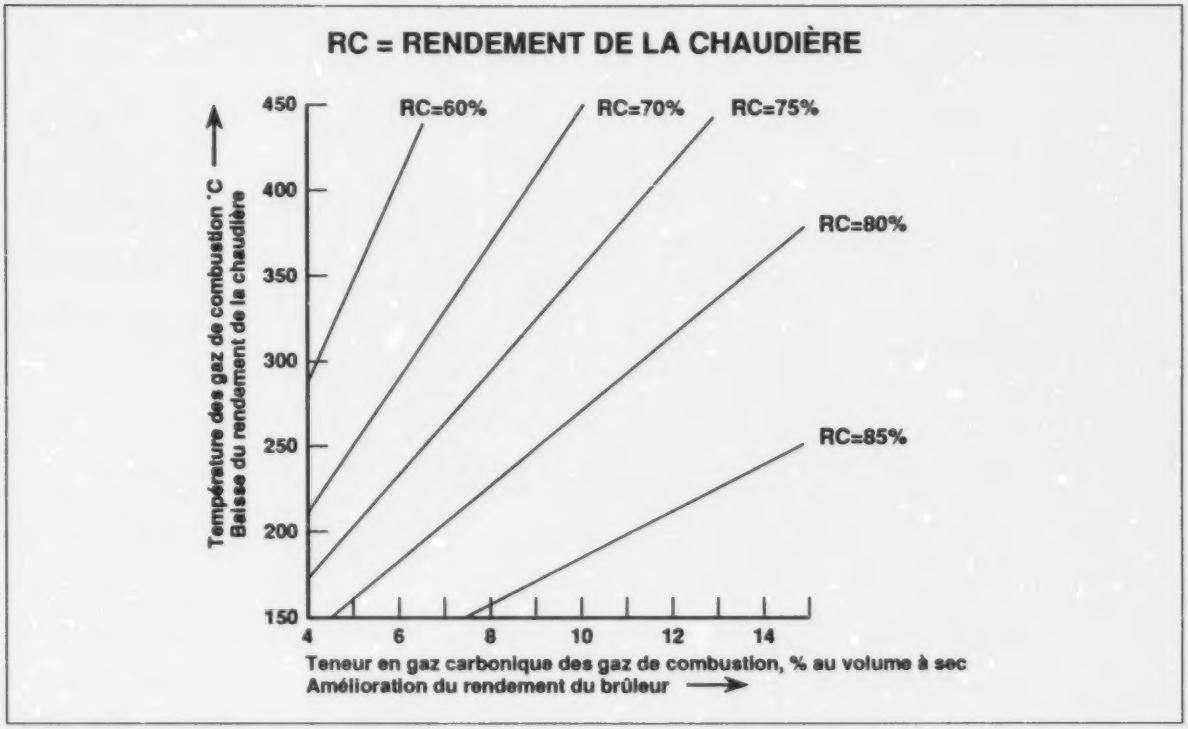


Pour déterminer le rendement de la combustion, on mesure:

- la température des gaz de combustion;
- leur teneur en oxygène (O2), dans le cas des brûleurs à gaz;
- leur teneur en gaz carbonique (CO2), dans le cas des brûleurs à mazout;
- la densité de la fumée.

Lorsque la combustion est incomplète, le rapport O2/CO2 dans les gaz de combustion est très faible, tandis qu'avec un excès d'air de combustion, la teneur en oxygène dépasse le niveau optimal. C'est ce que montre la figure 4.2, qui illustre le cas d'un brûleur à gaz.

Figure 4.2



4.2.2 Rendement saisonnier

On appelle rendement saisonnier le rapport entre la consommation totale de combustible de la saison de chauffage et la chaleur utile fournie au système de distribution thermique. Au début du cycle de chauffage, la chaudière et le carneau sont probablement froids, et il faudra sans doute les chauffer avant de pouvoir transférer de la chaleur utile au système. À l'arrêt du brûleur, par contre, le tirage à travers le foyer et le carneau aura pour effet de refroidir la chaudière, ce qui contribue aussi à réduire le rendement. Le rendement saisonnier est donc une sorte de valeur moyenne. Par exemple, un système ayant un rendement total de combustion de 80% peut avoir un rendement saisonnier de 65% seulement. Les facteurs qui influent sur le rendement saisonnier sont entre autres:

- le mode d'exploitation de la chaudière;
- le rapport entre la taille du système et la demande de chaleur;
- les caractéristiques de construction du brûleur et de la chaudière.

4.3 Brûleurs

Les brûleurs sont destinés à régler la combustion en présence d'air. Quels que soient leur type et le combustible utilisé, ils comportent tous les quatre éléments suivants:

- un diffuseur servant à mélanger le combustible et l'air;
- une source d'air (alimentation naturelle ou forcée);
- un dispositif d'allumage;
- une cellule photo-électrique de détection de flamme.

La configuration du brûleur dépend du type de combustible employé.

Le mazout, par exemple, doit être pulvérisé avant d'être mélangé à l'air et enflammé. Cette pulvérisation se fait par injection du mazout sous pression à travers l'orifice d'un injecteur. Dans le cas des combustibles lourds (mazout no 5 ou 6), on obtient une meilleure pulvérisation en les mélangeant avec de la vapeur ou de l'air comprimé avant de les envoyer dans l'injecteur.

L'air entre dans le brûleur par tirage naturel. Dans le cas des brûleurs plus importants, ce tirage est en général insuffisant, et on a recours à un ventilateur, qui permet un réglage plus précis du volume d'air entrant dans le brûleur. L'allumage est obtenu au moyen d'un dispositif pilote ou d'une étincelle électrique.

La cellule photo-électrique est un dispositif de sécurité qui permet d'arrêter immédiatement le système si la combustion ne se fait pas à la mise en marche.

Les brûleurs à combustibles conventionnels appartiennent à l'une ou l'autre des catégories suivantes:

1. Brûleurs à mazout à pulvérisation sous haute pression.
2. Brûleurs à mazout à pulvérisation par vapeur ou par air.
3. Brûleurs à gaz à tirage naturel.
4. Brûleurs à gaz à air soufflé.

Les mesures de gestion énergétique destinées à chacune de ces catégories sont décrites en détail dans les sections ci-après.

> **ATTENTION:**
> L'entretien des brûleurs doit être confié à des spécialistes, qui doivent même détenir un permis pour l'entretien de certains **types de brûleurs.**

4.3.1 Brûleurs à mazout à pulvérisation sous haute pression

On trouve couramment des brûleurs de ce type dans les vieilles installations de chauffage équipant de grands bâtiments ou des ensembles de bâtiments. Plusieurs méthodes permettent d'améliorer le rendement de ces brûleurs.

1. **Choix d'un brûleur convenable**

Qu'il soit destiné à une nouvelle installation ou bien à un système existant, le brûleur que vous choisissez doit avoir un rendement maximal. En d'autres termes, il doit pouvoir fournir, en 20-22 heures de marche, un chauffage adéquat durant la journée la plus froide de l'hiver.

2. **Installation d'une tête de rétention de flamme**

Ce dispositif augmente le rendement des vieux brûleurs. Montée sur l'extrémité du brûleur, la tête de rétention de flamme améliore la dispersion de la flamme, permettant ainsi à la combustion d'être

complète. Il est très important de choisir la tête qui convient à votre brûleur, et il vous est recommandé de consulter à ce sujet un spécialiste. La plupart des nouveaux brûleurs à mazout sont normalement munis d'une tête de rétention de flamme.

3. **Soupape à commande par solénoïde**

Dans bien des cas, le rendement du brûleur est réduit lors du démarrage de l'installation ou bien lorsqu'on l'arrête. Durant les 30 premières secondes du démarrage, la combustion risque d'être incomplète; c'est là l'une des grandes causes de l'accumulation de la suie dans un système à mazout. Ce problème est souvent dû à l'insuffisance de la pression dans la canalisation qui alimente la pompe à mazout. La combustion risque également d'être incomplète lorsqu'on arrête l'installation, notamment s'il n'y a pas arrêt immédiat de la pompe.

L'un et l'autre problèmes sont résolus par l'emploi d'une soupape à commande par solénoïde, que l'on monte entre la pompe à mazout et le brûleur et qui retarde la combustion jusqu'à ce que la pression soit devenue suffisante dans la canalisation d'alimentation de la pompe à mazout. Ce retard donne également au ventilateur de tirage induit le temps de fournir un débit d'air de combustion suffisant. La soupape à commande par solénoïde permet aussi de stopper le débit de mazout et l'alimentation du brûleur une fois que l'on a arrêté l'intallation. Ce type de modification permet enfin de réduire la fréquence des opérations de nettoyage nécessitées par les accumulations de suie.

4. **Brûleurs à plusieurs étages**

On doit régler les installations équipées de brûleurs à plusieurs étages de façon à utiliser au maximum le fonctionnement à petit feu. Ce mode de fonctionnement est généralement adapté aux longues durées de marche et donne un meilleur rendement saisonnier.

5. **Brûleurs à modulation**

Dans les installations munies de brûleurs à modulation, le déréglage du régulateur du rapport air/combustible peut provoquer une soudaine baisse de rendement. Le desserrement des tringles est souvent à l'origine des problèmes de cette nature.

6. **Entretien des brûleurs**

L'enthalpie du mazout peut varier légèrement au fil des mois. Pour obtenir un rendement maximal, il convient de régler le débit de l'air de combustion tous les mois, ainsi que toutes les fois où l'on change de type de mazout. Le débit de l'air de combustion est un facteur très important dans le fonctionnement des brûleurs à modulation, et il convient de vérifier régulièrement le rapport combustible/air et de le régler pour obtenir un rendement optimal.

Le desserrement des tringles provoque souvent le déréglage des régulateurs du rapport combustible/air.

Il importe également de vérifier régulièrement le rendement des brûleurs, ainsi que les teneurs en gaz carbonique (CO_2) et en oxygène (O_2). Il est utile d'installer dans le carneau un dispositif permanent de mesure du rendement ou un analyseur d'oxygène permettant de contrôler en continu le rendement de la combustion.

4.3.2 Brûleurs à mazout à pulvérisation par vapeur ou par air

Les brûleurs de ce type équipent en général les systèmes à grande capacité. Quelques-unes des méthodes employées pour améliorer les brûleurs de ce type sont décrites ci-dessous.

1. **Conversion des brûleurs**

On peut réduire le coût de la pulvérisation en convertissant les brûleurs de façon à la réaliser à l'air comprimé plutôt qu'à la vapeur. Cette méthode n'est cependant applicable qu'aux mazouts légers, de qualité supérieure.

2. **Réduction du cyclage des brûleurs**

Pour augmenter le rendement de combustion saisonnier, on peut réduire le cyclage des brûleurs en augmentant l'intervalle des pressions de la vapeur sur le régulateur de pression principal.

3. **Choisir le mazout le moins coûteux**

Les prix relatifs du mazout léger, du mazout lourd et du gaz naturel sont en constante fluctuation. Veillez à utiliser le combustible le moins coûteux par unité d'énergie, sans perdre de vue les tendances à long terme. Et n'oubliez pas de tenir compte du coût en capital nécessaire à la conversion, c'est-à-dire au remplacement d'un combustible par un autre.

4. **Installer un régulateur d'oxygène**

Si la puissance de la chaudière à vapeur est supérieure à 3000 kW (10 millions de BTU/h), il serait utile d'installer un régulateur d'oxygène, qui permet de régler automatiquement le volume d'air entrant dans le brûleur en fonction du pourcentage d'oxygène détecté dans les gaz de combustion.

5. **Régulation à pression différentielle**

Pour obtenir un rendement maximal, régler la pression de la vapeur en fonction de la pression du mazout. Dans le cas d'un important système de chauffage, envisager à cette fin l'installation d'un régulateur à pression différentielle. Le rendement est amélioré par le fonctionnement plus régulier de la tête de pulvérisation.

Envisager également l'emploi d'un récupérateur de chaleur pour préchauffer le mazout lourd.

6. **Température du mazout lourd**

La viscosité du mazout lourd peut influer considérablement sur le rendement du brûleur. Étant donné que cette viscosité est fonction de la température, il importe de maintenir autant que possible la température du réservoir de mazout à un niveau constant.

4.3.3 Brûleurs à gaz à tirage naturel

Ces brûleurs utilisent l'air induit par tirage naturel. Les chaudières à gaz domestiques et les grandes installations d'un certain âge sont souvent équipées de brûleurs de ce type, qui, dans bien des cas, ont remplacé les brûleurs à mazout installés à l'origine. Les méthodes d'amélioration du rendement des brûleurs à gaz à tirage naturel sont décrites ci-après.

1. **Allumage électronique**

La flamme pilote allumée à longueur d'année consomme beaucoup de gaz. Il est donc préférable de la remplacer par un système d'allumage électronique.

2. **Réduction du cyclage des brûleurs**

De fréquentes successions de marche et d'arrêt ont pour effet de réduire le rendement du brûleur à long terme. On peut réduire ce cyclage en augmentant l'intervalle de pression entre les valeurs de marche et d'arrêt du dispositif de commande du brûleur.

3. **Contrôle de la pression du gaz dans la tubulure d'admission**

Le rendement d'un brûleur à gaz à tirage naturel dépend de la pression du gaz dans la tubulure d'admission et des proportions d'air et de gaz à la flamme. Il importe donc de vérifier régulièrement cette pression et de veiller à ce qu'elle soit égale à la pression spécifiée pour le brûleur. Quant au mélange air/gaz, on l'optimise d'abord par réglage de la couleur de la flamme, ensuite en procédant à des mesures du rendement tout en ajustant le régulateur du mélange.

4. Entretien

Étant donné que ces systèmes dépendent du tirage naturel créé par la combution, les entrées d'air dans la chaufferie doivent être ouvertes en permanence. On doit vérifier régulièrement les registres et les filtres pour s'assurer que rien n'entrave le passage de l'air. Il importe également de maintenir la chaufferie en bon état de propreté afin d'éviter l'encrassement des brûleurs.

Pour éviter le gaspillage de gaz, éteindre la flamme pilote quand les brûleurs ne sont pas en service. Par exemple, si les brûleurs ne servent qu'au chauffage des locaux, il est bon d'éteindre la flamme pilote pendant les mois d'été.

4.3.4 Brûleurs à gaz à air soufflé

L'emploi de ces brûleurs fait appel à un ventilateur pour fournir l'air nécessaire à la combustion et évacuer les gaz de combustion. Les méthodes utilisées pour améliorer le rendement des brûleurs de ce type ressemblent à celles que l'on applique aux autres types. On peut, par exemple, équiper le brûleur d'une tête de rétention de flamme et réduire le cyclage en augmentant l'intervalle qui sépare les positions de marche et d'arrêt sur le dispsositif de commande et de régulation du brûleur.

Le rendement des systèmes d'une puissance égale ou supérieure à 3000 kW (10 millions de BTU h) peut être amélioré par l'installation d'un régulateur de débit d'air commandé par un capteur de gaz de combustion.

4.4 Installations de production d'eau chaude

Une installation de ce type se compose d'une ou plusieurs chaudières à eau chaude, d'un échangeur thermique pour la production d'eau chaude à usage domestique, de pompes de circulation et de dispositifs de commande et de régulation. La figure 4.3 illustre ce genre d'installation. Les sources d'énergie couramment utilisées dans les chaudières à eau chaude sont le mazout, le gaz et l'électricité.

Note : Les mesures applicables au système de distribution d'eau sont décrites dans la section 4.6; celles qui s'appliquent au système d'eau chaude à usage domestique sont traitées dans le chapitre 5. Les brûleurs sont étudiés dans la section 4.3.

Les mesures décrites ci-dessous s'appliquent aux éléments numérotés du système de production d'eau chaude illustré dans la figure 4.3. La première section décrit les mesures destinées à améliorer le système. La seconde traite des mesures d'entretien qu'il est indispensable de mettre régulièrement en oeuvre.

4.4.1 Amélioration du système

1. Régulateur de température

Le demande de chauffage du bâtiment varie avec la température de l'air extérieur. L'installation d'un régulateur permet de régler la température de l'eau chaude en fonction de celle de l'extérieur. Dans ce type de régulation, on doit mesurer la température de l'eau chaude à l'entrée du système de distribution. Dans les petits systèmes, où la régulation automatique n'est pas rentable, on se borne de régler manuellement, une fois par semaine ou par mois, la température de l'eau chaude.

2. Brûleur

Se reporter à la section 4.3 pour trouver les conseils sur l'amélioration et l'entretien des brûleurs propres à votre système.

3. Mesure du rendement à la cheminée

Contrôler le rendement de la combustion en mesurant régulièrement les concentrations de gaz carbonique (CO_2) et d'oxygène (O_2).

Envisager l'installation d'un appareil de mesure en continu du rendement et/ou de la teneur en oxygène dans la culotte de cheminée située au-dessus de la chaudière.

4. Installation de compteurs dans le tableau de commande

Munir de compteurs de durée de fonctionnement les brûleurs à marche non modulante et relever quotidiennement les chiffres qu'ils indiquent. On peut ainsi contrôler l'emploi de chaque chaudière et programmer correctement la marche de plusieurs chaudières en fonction de la demande de chauffage.

5. Déstratification

Dans le cas d'une chaufferie où règne une température élevée, utiliser un ventilateur et des gaines pour envoyer l'air chaud aux brûleurs. Cette mesure améliore le rendement de la combustion.

6. Chauffe-eau pour l'été

Envisager d'arrêter les chaudières principales durant les mois d'été et d'utiliser des chauffe-eau autonomes pour la production d'eau chaude à usage domestique.

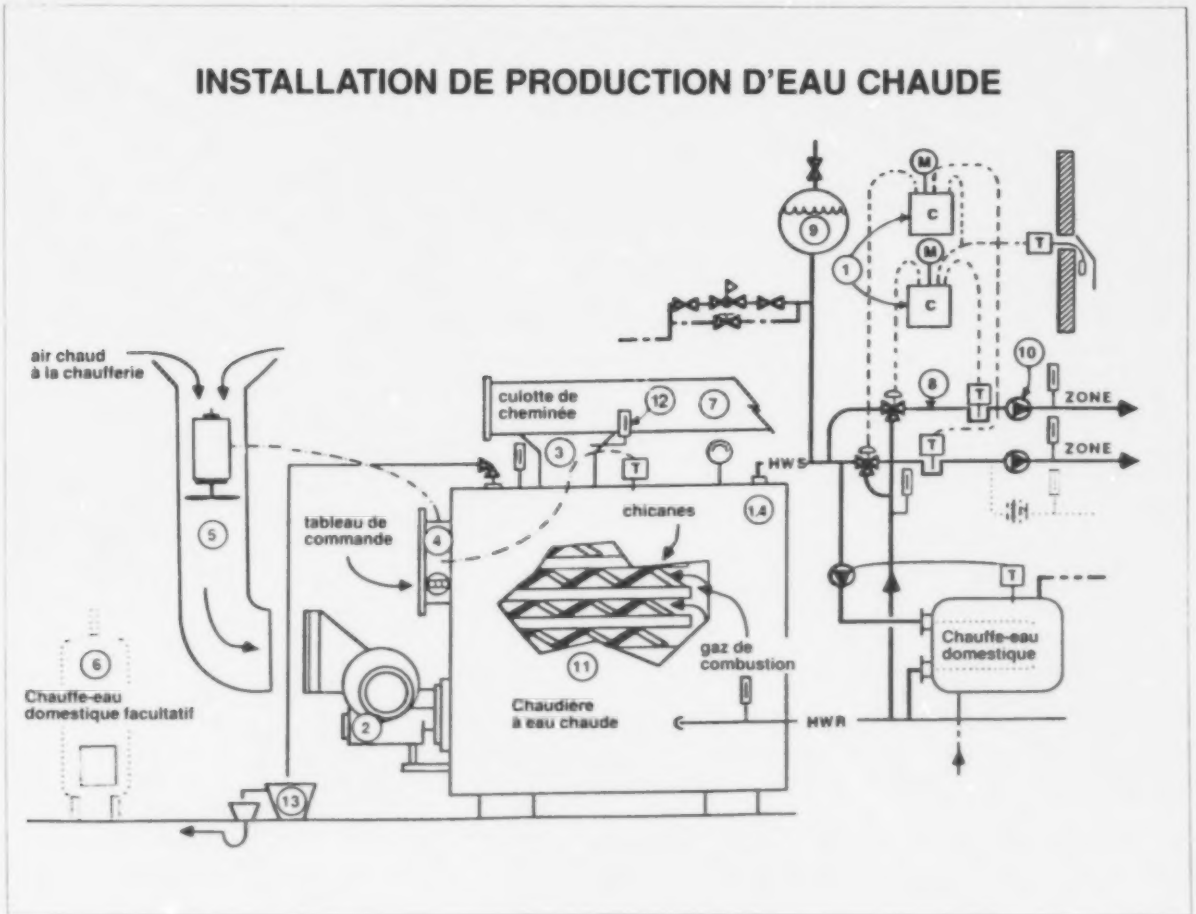
7. Récupération des calories des gaz de combustion (écomomiseur)

Installer un économiseur pour récupérer la chaleur des gaz de combustion et préchauffer l'eau à usage domestique. Cette chaleur peut aussi servir à d'autres fins.

8. Chaudière et système de circulation

Pour réduire les pertes par rayonnement, calorifuger les chaudières, la tuyauterie, les robinets et soupapes, etc. Remplacer l'isolation si elle en mauvaise état ou de qualité médiocre.

Figure 4.3



4.4.2 Entretien du système

1. Vase d'expansion

Maintenir assez d'air dans les vases d'expansion et en vérifier le fonctionnement. Une capacité d'expansion insuffisante provoque des pertes d'eau chaude par la soupape de sûreté chaque fois que la chaudière s'arrête puis redémarre.

2. Pompe de circulation

Durant la saison de chauffage, veiller à purger la pompe une fois par semaine. Vérifier l'adéquation entre la pompe et le vase d'expansion. La présence d'air dans la pompe provoque la cavitation, et celle-

ci finit par endommager la pompe. La présence d'air dans les systèmes de chauffage est cause de difficultés de chauffage localisées et contraint à élever la température de l'eau. Si vous jugez qu'il est nécessaire de modifier la tuyauterie, faites-vous conseiller par des spécialistes.

3. **Chambre de combustion/carneau**

Des calories sont gaspillées lorsque les gaz de combustion évacués par la cheminée ont une température trop élevée. En règle générale, la différence entre la température des gaz de combustion et celle de l'eau de chaudière à l'entrée du système de distribution ne doit pas dépasser 100 °C. Des gaz de combustion ayant une température trop élevée indiquent la présence d'un excès d'air dans le mélange combustible/air; ils peuvent aussi être le signe d'un encrassement des surfaces de l'échangeur de chaleur ou d'une insuffisance du débit de l'eau. Envisager l'installation de chicanes pour augmenter le transfert de chaleur par les tubes de fumée.

4. **Encrassement de l'échangeur de chaleur**

Une augmentation lente et progressive de la température des gaz de combustion indique sans doute que les tubes de la chaudière sont encrassés. Veillez à enregistrer la température des gaz de combustion de façon à pouvoir en déceler les variations éventuelles. Si cette température varie, inspectez les tubes de la chaudière et vérifiez-en l'intérieur et l'extérieur.

5. **Soupape de sûreté**

La soupape de sûreté montée sur la chaudière sert à purger l'eau lorsque la pression de la chaudière dépasse la limite fixée. Pour surveiller cette soupape, installer un récipient entre sa sortie et le drain de plancher de façon à déceler la présence d'eau. Veillez à bien régler la soupape. S'il y a présence d'eau, vérifiez le réglage des valeurs maximales sur le dispositif de commande et de régulation du brûleur. Vérifiez également le vase d'expansion.

6. **Entretien du système de circulation**

Surveillez le traitement de l'eau et évitez l'entartrage des tubes d'eau. Inspectez-en la surface extérieure et assurez-vous qu'elle n'est pas corrodée. (Il y a corrosion lorsque la température des gaz de combustion descend au-dessous du point de rosée des acides qu'ils contiennent et quand l'humidité (condensation) devient excessive lors du refroidissement de la chaudière.).

7. **Systèmes de production d'eau chaude avec chaudières de réserve**

Pour réduire les déperditions thermiques de ces chaudières, on emploie des dispositifs de commande et régulation qui permettent de les utiliser en alternance, l'une après l'autre. De plus, la température d'alimentation doit être réglée périodiquement en fonction de la température extérieure. Ce réglage peut se faire par commande manuelle ou bien automatique.

Utiliser des clapets de retenue ou des soupapes à commande manuelle/automatique pour empêcher le court-circuitage de l'eau à travers les pompes et les chaudières de réserve.

Dans le cas d'une grande installation, envisager l'emploi de registres automatiques entre la chaudière et le carneau pour éviter les déperditions thermiques durant les temps d'arrêt.

4.5 Installations de production de vapeur

Ces installations sont en général plus complexes que celles destinées à la production d'eau chaude, et leur équipement est plus nombreux. La figure 4.4 représente le schéma type d'une installation de production de vapeur. On trouvera ci-dessous la description des principaux constituants du système, ainsi que celle des mesures d'économie d'énergie qu'il est recommandé de prendre sur le plan de l'amélioration des installations et sur celui de leur entretien.

- Désaérateur du condensat et de l'eau d'appoint.
- Réservoir à condensat.
- Appareil d'adoucissement de l'eau d'appoint.
- Réservoir de produits chimiques destinés à la régulation du pH et des principales propriétés de l'eau de chaudière.
- Récipient destiné à recevoir le produit des opérations de purge servant à enlever la mousse et les substances indésirables qui flottent à la surface de l'eau dans la chaudière.
- Tubulure de purge des boues qui s'accumulent au fond de la chaudière sous l'effet du traitement de l'eau et de la concentrations des matières solides.

Les mesures de gestion énergétique décrites ci-après s'appliquent aux éléments numérotés de la figure 4.4.

4.5.1 Amélioration du rendement énergétique des installations

1. Air de combustion

L'air entrant dans le brûleur doit être le plus chaud possible. Il est donc efficace d'installer des gaines pour amener au brûleur la couche d'air chaud proche du plafond. Une telle mesure améliore sensiblement le rendement de la combustion.

2. Carneau/cheminée

Envisagez l'installation de récupérateurs de chaleur si la chaudière fonctionne pendant plus de 6000 heures par an. Faites-vous d'abord conseiller par des spécialistes. Si la construction de la chaudière et de la cheminée le permet, munir de chicanes les tubes de fumée, soit comme mesure supplémentaire, soit comme solution de remplacement à l'emploi des récupérateurs.

3. Réchauffeur de mazout

Cet appareil est nécessaire pour maintenir le mazout lourd (no 6) à environ 50 °C et ainsi obtenir un débit suffisant et une bonne combustion. Il est recommandé de calorifuger les réservoirs de mazout et de les chauffer avec des calories récupérées.

4. Tuyaux chauffés

Veiller à calorifuger tous les tuyaux chauffés destinés au transport de la vapeur, du mazout, du condensat recyclé, etc. Calorifuger également le corps des soupapes et robinets de grande taille.

5. Évent thermostatique du désaérateur

Le désaérateur sert à désaérer le condensat et l'eau d'appoint avant leur introduction dans le système. Pour réduire les pertes de vapeur, installer un évent thermostatique sur le désaérateur.

6. Réservoir de récupération

Pour éviter les pertes par les soupapes de sûreté et le collecteur de trop-plein, installer un réservoir de récupération des liquides à la sortie du collecteur au-dessus du drain de plancher.

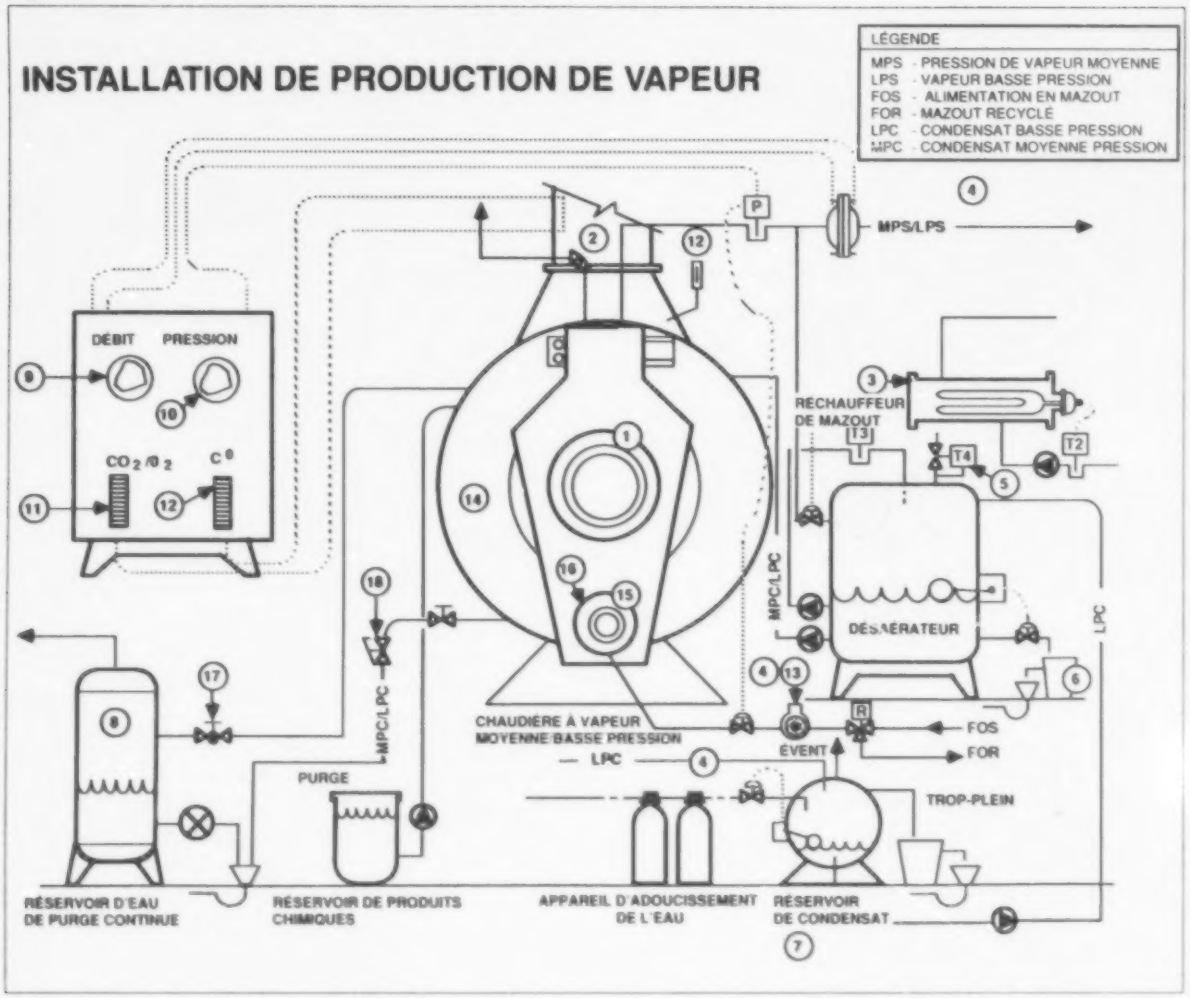
7. Réservoir de condensat

Comme son nom l'indique, il sert à récupérer le condensat produit par le système. Veillez à dimensionner correctement ce réservoir pour pouvoir récupérer la totalité du condensat du système.

8. Récupération des calories contenues dans l'eau de purge

Si la chaudière est équipée d'un dispositif de purge continue, envisager l'installation d'un échangeur thermique ou d'un évent.

Figure 4.4



4.5.2 Entretien des installations

9. Enregistrement de la production de vapeur

La production de vapeur et la consommation de mazout de la chaudière doivent toutes deux être contrôlées et évaluées, une fois par jour au moins, en vue de la vérification du rendement du système. En règle générale, on étalonne l'enregistreur à une pression donnée. Mais lorsque la pression varie, l'appareil perd sa justesse. Par conséquent, si la pression de la vapeur s'écarte constamment de la valeur utilisée pour l'étalonnage, il faut appliquer un facteur de conversion aux quantités de vapeur enregistrées pour obtenir les débits réels.

Au moyen de l'information fournie par l'enregistreur, calculer régulièrement le rendement global de l'installation à l'aide de la formule suivante:

$$\text{Rendement global (\%)} = \frac{S \times H \times 100}{V \times Q}$$

Dans cette équation:

S = Quantité de vapeur produite (kg) (lue sur l'enregistreur)
H = Enthalpie de la vapeur (MJ/kg) - (donnée dans les tables)
V = Volume de mazout consommé (litres) (lu sur le compteur)
Q = Pouvoir calorifique du mazout (MJ/litre) - (Cf. tables)

10. Enregistreur de la pression de la vapeur

La pression de la vapeur varie en général de 100 à 1000 kPa.

Afin de réduire au minimum les pertes de charge dans la tuyauterie, calculer la pression minimale que doit avoir la vapeur dans chaque période de l'année (en fonction de la demande de chauffage) et régler la pression sur une base saisonnière.

Si possible, réduire également la pression durant la nuit.

ATTENTION: La vapeur haute pression produite par la chaudière ne doit pas descendre au-dessous d'une valeur déterminée, par exemple lorsqu'elle est utilisée dans des stérilisateurs, appareils dont le fonctionnement peut exiger de la vapeur à 500 kPa de pression.

11. Contrôleurs des teneurs en gaz carbonique (CO_2) et en oxygène (O_2) des gaz de combustion

Ces teneurs sont directement reliées au rendement de la combustion réalisée par le brûleur. Surveillez régulièrement les indicateurs des teneurs en CO_2 et en O_2 des gaz de combustion et réglez la combustion de façon à obtenir un rendement maximal. Voir la section 4.3 pour plus de renseignements sur la régulation des brûleurs.

12. Indicateur de la température des gaz de combustion

Notez cette température à chaque quart. Son augmentation graduelle est signe d'un encrassement progressif des surfaces d'échange thermique.

13. Mesure de la consommation de combustible

La consommation quotidienne de combustible doit être consignée dans un registre réservé à cette fin. La mesure de la consommation se fait au moyen d'un compteur ou bien par des méthodes comme:

- l'enregistrement des niveaux du mazout dans les réservoirs, à l'aide d'une jauge ou d'un indicateur de niveau;
- l'enregistrement des livraisons de mazout;
- l'enregistrement des durées de fonctionnement du brûleur au moyen d'un compteur de temps.

14 Chaudière à vapeur

Pour éviter les déperditions thermiques, faire fonctionner la chaudière de réserve au rendement qui convient le mieux à la charge de chauffage. Si l'on doit maintenir en service une chaudière de réserve, il vaut mieux la chauffer par injection de vapeur plutôt que par utilisation d'un brûleur.

15. Le brûleur

La section 4.3 traite en détail de la question des brûleurs.

16. Réglage des leviers du brûleur

Veiller à régler solidement les leviers du brûleur. Vérifier régulièrement les positions "marche" et "arrêt" pour déterminer le débit.

17. Soupape de purge continue

Régler la soupape de façon à éviter une purge excessive, mais permettre une purge suffisante pour l'évacuation des impuretés et des boues présentes dans le système.

18. Robinet de purge et de prélèvement

Vérifier mensuellement, au moyen de tests chimiques, l'efficacité de la purge.

4.6 Systèmes de distribution d'eau chaude

Le système de distribution d'eau chaude sert à faire circuler l'eau chaude entre la chaudière et le matériel de transfert thermique des différents locaux chauffés du bâtiment. La figure 4.5 est un schéma type d'un tel système, dont les principaux constituants sont:

- La tuyauterie et le réseau de distribution de la chaleur.
- Le matériel de tranfert thermique, c'est-à-dire:
- les convecteurs, en général installés dans les locaux occupés;
- les appareils de chauffage à circulation forcée, utilisés dans les vestibules;
- les aérothermes, installés dans les ateliers, garages et salles d'équipement;
- les serpentins de chauffage des appareils de traitement de l'air ou des échangeurs thermiques (i.e. chauffe-eau).
- Les pompes servant à faire circuler l'eau chaude.
- Les dispositifs de régulation de la température et du débit de l'eau qui circule dans l'équipement de transfert thermique, ainsi que ceux qui empêchent l'accumulation de l'air dans la tuyauterie (identifiés par C1, C2 et C3 dans la figure 4.5).
- Des dispositifs de contrôle destinés à indiquer la pression et la température en divers points du système (identifiés par les symboles T1 à T10).
- Un temporisateur central servant à commander la durée de fonctionnement du chauffage à température réduite. Ce temporisateur, indiqué dans le coin gauche inférieur de la figure 4.5, comporte trois connexions:
- R1: cette connexion est programmée pour indiquer la période durant laquelle la température de l'eau de circulation est réduite;
- R2: cette connexion commande les durées de cyclage des ventilateurs des aérothermes quand le chauffage fonctionne à température réduite.
- R3: cette connexion sert à indiquer les périodes d'inoccupation du bâtiment, de façon à permettre le réglage séquentiel des thermostats de chauffage à température réduite.

Les notes ci-après décrivent les éléments de la figure 4.5 qui offrent d'importantes possibilités sur le plan des économies d'énergie.

4.6.1 Amélioration du rendement énergétique du système de distribution d'eau chaude

1. Régulation de la température et distribution de l'air

Pour réduire les déperditions thermiques durant les périodes d'inoccupation des locaux, installer des thermostats de chauffage à température réduite. Régler la connexion R3 du temporisateur en fonction de ces périodes. En outre, régler au moyen de la connexion R2 le cyclage des ventilateurs de distribution de façon à maintenir la réduction de température dans toutes les pièces.

Remarque: Il y a parfois risque de gel de l'eau du serpentin de chauffage. Consulter un spécialiste pour savoir s'il faut prévoir une protection contre le gel.

4.6.2 Entretien

2. Aérothermes

Durant les périodes d'inoccupation des locaux, utiliser les thermostats de chauffage à température réduite pour commander le démarrage et l'arrêt des ventilateurs des aérothermes. Connecter le dispositif de temporisation du chauffage à température réduite au contact R2 du temporisateur principal.

3a. **Convecteurs**

Dans le cas des convecteurs, la réduction des températures de chauffage peut se faire par diminution de la température de l'eau pendant les périodes d'inoccupation des locaux. Un second régulateur de la température de l'eau (C1A) est programmé de façon à produire la réduction de température voulue. Le dispositif de temporisation passera du contact C1 au contact C1A sous l'action d'une soupape électropneumatique (EP) et du contact R1 du temporisateur principal.

3b. **Convecteurs (seconde méthode de réduction des températures)**

La réduction des températures de chauffage peut aussi se faire au moyen d'une commande pneumatique à deux pressions et donc deux points de consignes. La pression de l'air est réglée par un système à deux pressions qui comporte une soupape électropneumatique commandée par un dispositif de temporisation et le contact R1 du temporisateur principal.

4. **Appareils de chauffage à circulation forcée des vestibules**

Ces appareils doivent être réglés de façon à maintenir une température de 5-7°C dans les vestibules (vérifier le fonctionnement de la fermeture des portes).

5. **Mesure des pertes de charge**

Afin de ne pas surcharger la pompe, contrôler les pertes de charge dans la tuyauterie au moyen du dispositif type montré dans le coin inférieur droit de la figure 4.5.

6. **Évents automatiques**

Vérifier tous les évents automatiques pour s'assurer qu'il n'y a ni accumulation d'air ni fuites. Au besoin, installer des évents pour éviter la formation de bouchons d'air dans le système de circulation.

7. **Emplacement des pompes de circulation**

L'emplacement des pompes de circulation par rapport au vase d'expansion peut provoquer l'introduction d'air dans le système. Pour éviter le blocage par les bouchons d'air, relier le vase d'expansion à la conduite d'aspiration des pompes. Il importe toutefois de demander conseil aux spécialistes avant toute modification.

8. **Arrêt des pompes**

On améliore le rendement saisonnier du système en arrêtant toutes les pompes de circulation durant les périodes de chauffage à température réduite (connexion R3) ou d'inoccupation des locaux quand la température extérieure dépasse 15°C. Veiller cependant à prévenir le gel de l'eau de la tuyauterie dans les régions éloignées ou exposées.

9. **Inspection et entretien saisonniers**

Réparer l'isolation endommagée et calorifuger les tuyaux, soupapes et robinets pour réduire les déperditions thermiques que le rayonnement fait subir au système de distribution et à la chaudière. En outre, faire fonctionner celle-ci à la température d'eau la moins élevée possible, compte tenu du niveau de confort à maintenir dans le bâtiment.

10. **Eau chaude à usage domestique**

Réduire la consommation de cette eau en installant des régulateurs de débit et en adressant aux occupants les instructions qui s'imposent pour éviter le gaspillage.

11. **Circuits de chauffage/refroidissement**

Fermer les circuits de chauffage (ou de refroidissement) à la fin de la période de chauffage (ou de refroidissement). **Note:** Dans le cas du chauffage à l'électricité, ouvrir le disjoncteur.

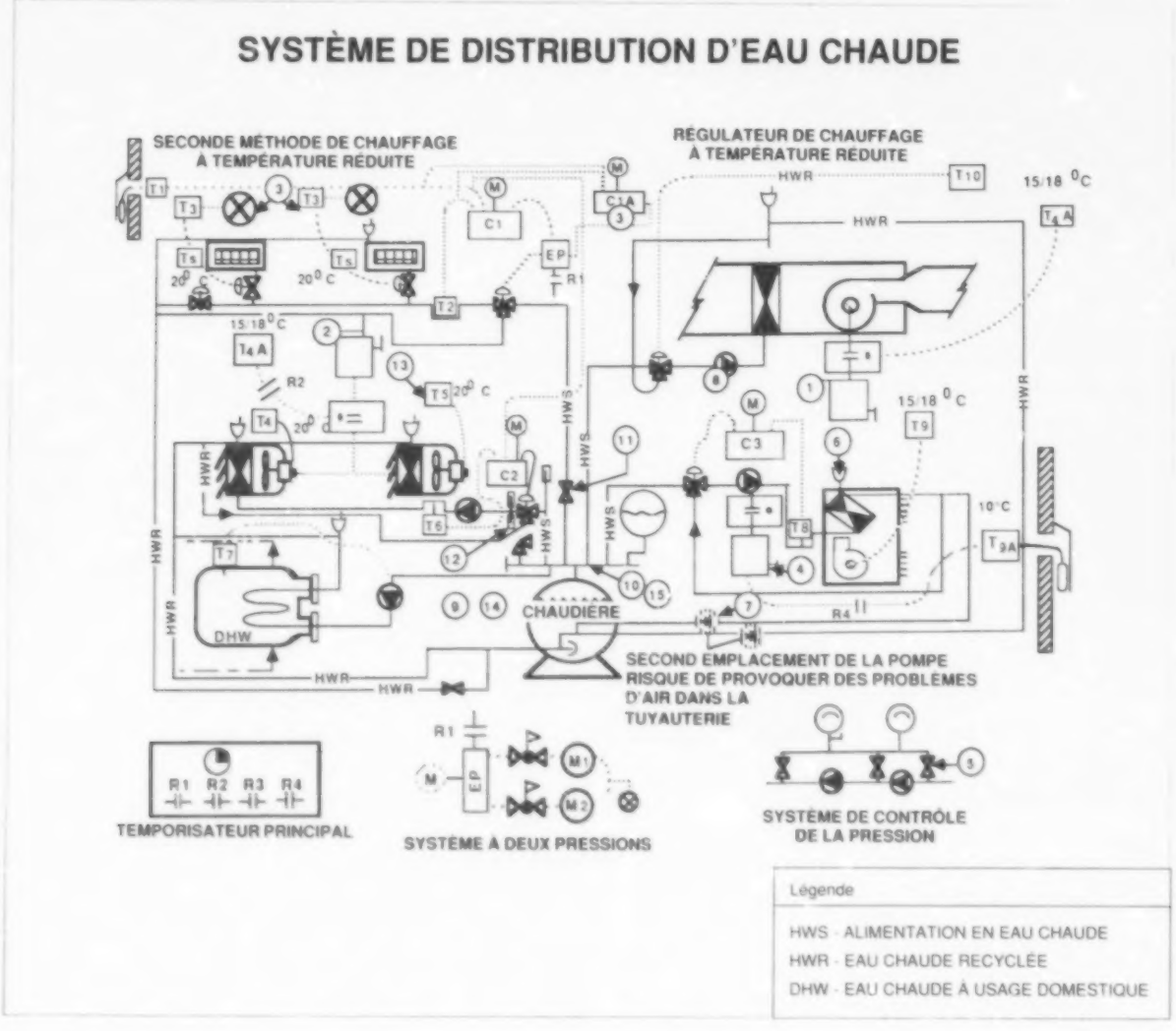
12. Régulation de la température

Fixer le point de consigne des régulateurs de façon à maintenir la température la plus basse possible, compte tenu du niveau de confort à maintenir (**Note:** la mesure de la température doit se faire en aval de la soupape de mélange).

13. Thermostats

Vérifier annuellement le point de consigne de chaque thermostat en le comparant à la température réelle de la pièce. Si l'écart dépasse 1°C, procéder à un nouvel étalonnage du thermostat. Si possible, envisager l'emploi de soupapes thermostatiques autonomes et utiliser des thermostats individuels plutôt que d'avoir recours à la régulation par zones.

Figure 4.5



14. Circuit d'eau

Surveiller régulièrement l'eau en vue d'y déceler la présence de matières étrangères, de tartre et de produits de la corrosion. Au besoin, purger le circuit pour maintenir les surfaces en bon état de propreté, de façon à favoriser la circulation et le transfert thermique. Si possible, avoir recours au traitement de l'eau.

4.7 Systèmes de distribution de vapeur

Le système de distribution de vapeur sert à faire passer la vapeur de la chaudière au matériel de transfert thermique. La figure 4.6 est un schéma type d'un tel système, dont les principaux constituants sont:

- La tuyauterie (normalement en acier).
- Le matériel de transfert thermique, c'est-à-dire:
  - les convecteurs, en général installés dans les locaux occupés;
  - les appareils de chauffage à circulation forcée, utilisés dans les vestibules;
  - les aérothermes, installés dans les ateliers, garages et salles d'équipement;
  - les serpentins de chauffage des appareils de traitement de l'air ou des échangeurs thermiques (chauffe-eau, par exemple).
  - les humidificateurs des appareils de ventilation.
- Le matériel de traitement du condensat: réservoir, pompe et conduite d'alimentation en eau d'appoint.
- Les dispositifs de régulation du débit de vapeur dans l'équipement de transfert thermique.
- Des dispositifs de contrôle destinés à indiquer la pression et la température en divers points du système (identifiés par les symboles T1 à T10).
- Un temporisateur central servant à commander la durée de fonctionnement du chauffage à température réduite. Ce temporisateur, indiqué dans le coin inférieur gauche de la figure 4.6, comporte trois connexions:
  - R1: cette connexion est programmée pour indiquer la période de réduction de la température de l'eau chaude à usage domestique.
  - R2: cette connexion commande les durées de cyclage des ventilateurs des aérothermes quand le chauffage fonctionne à température réduite.
  - R3: cette connexion sert à indiquer les périodes d'inoccupation du bâtiment, de façon à permettre le réglage séquentiel des thermostats de chauffage à température réduite.

Les notes ci-après décrivent les éléments de la figure 4.6 qui offrent d'importantes possibilités sur le plan des économies d'énergie.

4.7.1 Amélioration du rendement énergétique du système de distribution de vapeur

1. Régulation de la température et distribution de l'air

Pour réduire les déperditions thermiques durant les périodes d'inoccupation des locaux, installer des thermostats de chauffage à température réduite. Régler la connexion R3 du temporisateur en fonction de ces périodes. En outre, régler au moyen de la connexion R2 le cyclage des ventilateurs de distribution de façon à maintenir la réduction de température dans toutes les pièces.

Remarque: Il y a parfois risque de gel de l'eau du serpentin de chauffage. Consulter un spécialiste pour savoir s'il faut prévoir une protection contre le gel.

4.7.2 Entretien

2. Aérothermes

Durant les périodes d'inoccupation des locaux, utiliser les thermostats de chauffage à température réduite pour commander le démarrage et l'arrêt des ventilateurs des aérothermes. Connecter le dispositif de temporisation du chauffage à température réduite au contact R2 du temporisateur principal.

3. Convecteurs

La réduction des températures de chauffage peut se faire au moyen d'une commande pneumatique à deux pressions et donc deux points de consignes. La pression de l'air est réglée par un système à deux pressions qui comporte une soupape électropneumatique commandée par un dispositif de temporisation et le contact R1 du temporisateur principal.

4. Appareils de chauffage à circulation forcée des vestibules

Ces appareils doivent être réglés de façon à maintenir une température de 5-7 °C dans les vestibules (vérifier le fonctionnement de la fermeture des portes).

5. Mesures générales d'entretien

Pour améliorer le rendement saisonnier, arrêter l'alimentation en vapeur durant les périodes d'inoccupation lorsque la température extérieure dépasse 15°C. Ajouter une soupape et un régulateur, ainsi qu'un thermomètre extérieur.

Autant que possible, réduire la pression de la vapeur dans le système et maintenir en bon état l'isolation du système de distribution.

6. Arrêt du système

Arrêter l'alimentation en vapeur dès la fin de la saison de chauffage.

7. Humidificateurs

Arrêter l'alimentation en vapeur des humidificateurs dès la fin de la période d'humidification.

8. Évent du réservoir de condensat

Pour empêcher les pertes de vapeur et/ou de condensat, examiner régulièrement l'évent du réservoir de condensat pour déceler les fuites susceptibles de se produire par le purgeur automatique.

9. Purgeurs de vapeur

Inspecter annuellement tous les purgeurs.

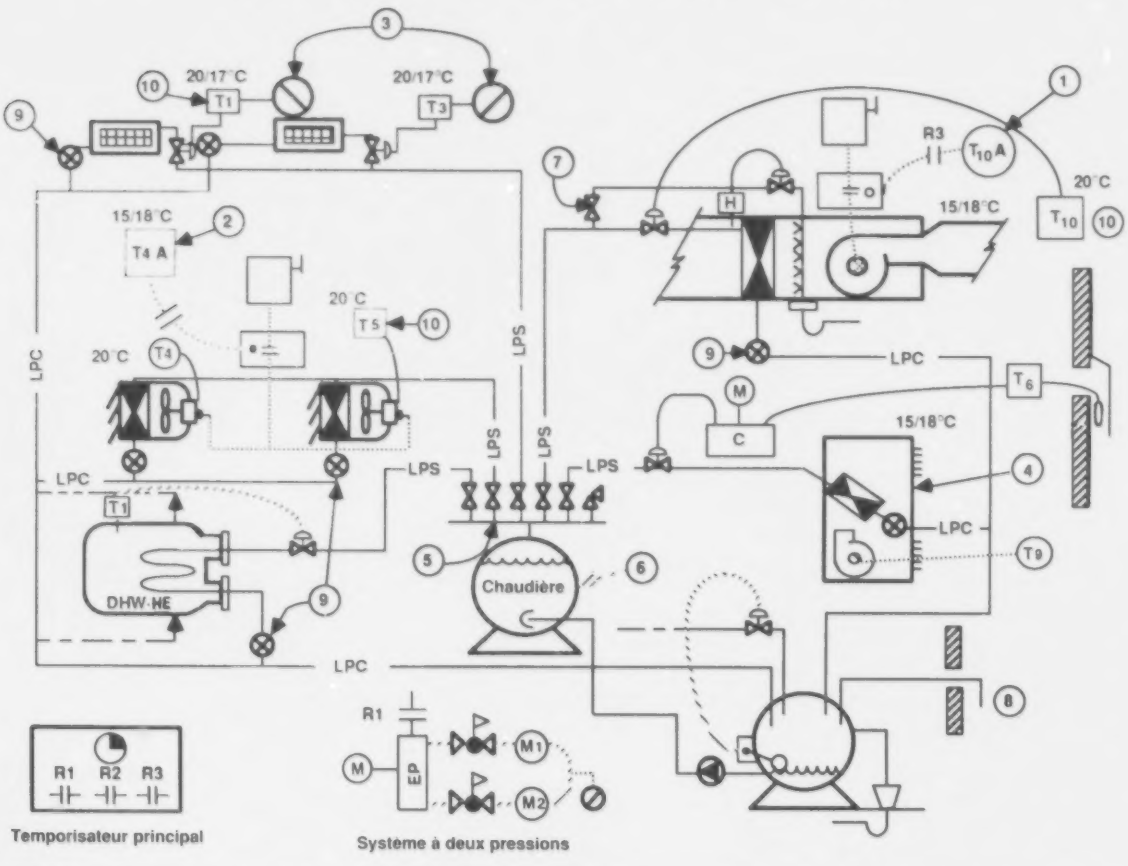
10. Thermostats

Vérifier annuellement le point de consigne de chaque thermostat en le comparant à la température réelle de la pièce. Si l'écart dépasse 1°C, procéder à un nouvel étalonnage du thermostat. Si possible, envisager l'emploi de soupapes thermostatiques autonomes et utiliser des thermostats individuels plutôt que d'avoir recours à la régulation par zones.

Une autre façon de régler les systèmes de chauffage en fonction de la température extérieure consiste à employer un dispositif de "commande par impulsions".

Figure 4.6

SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE VAPEUR



LÉGENDE

LPC – Condensat à basse pression
LPS – Vapeur à basse pression
DHW-HE – Échangeur thermique pour eau chaude à usage domestique
EP – Dispositif électropneumatique
M – Dispositif de commande

4.8 Systèmes à air pulsé

Ces systèmes utilisent l'air pulsé dans le bâtiment par un ventilateur pour faire passer les calories de la source (le générateur d'air chaud) aux locaux à chauffer. Le chauffage par air pulsé est couramment employé dans les bâtiments à usage d'habitation. Les principaux constituants d'un tel système sont:

- Un générateur d'air chaud/échangeur thermique (comportant habituellement le ventilateur et le filtre).
- Un ventilateur destiné à faire circuler l'air.
- Un filtre servant à enlever les contaminants particulaires.
- Un système de gaines et de distribution de la chaleur.
- Des dispositifs de commande, de régulation et de sécurité destinés à régler le débit de l'air et la température des locaux.
- Un temporisateur servant à abaisser la température de chauffage durant la nuit. Ce dispositif est facultatif.

On trouvera dans les lignes ci-après la description des principales mesures permettant d'économiser l'énergie dans les systèmes de chauffage par air pulsé.

1. **Générateur d'air chaud**

- Voir la section 4.3 pour ce qui est du fonctionnement et de l'entretien des brûleurs.
- Maintenir la propreté des surfaces d'échange thermique.

2. **Ventilateur**

- Augmenter la vitesse du ventilateur si la température des gaz de combustion est anormalement élevée.
- Accroître la durée de marche en ramenant les points de consigne du thermostat à 60°C (maximum) et 40°C (minimum). Mais ne pas modifier le dispositif de sécurité et de contrôle de la température maximale!
- Dans certains cas, le fonctionnement permanent du ventilateur de circulation permet d'éviter la mieux distribuer la chaleur dans le bâtiment.

3. **Filtre**

Veiller à le nettoyer ou à le remplacer régulièrement.

4. **Gaines**

- Veiller à les nettoyer régulièrement.
- Dans les régions froides, prendre la précaution de les isoler.

5.0
Eau chaude à usage domestique

5.0 EAU CHAUDE À USAGE DOMESTIQUE

5.1 Introduction

Les systèmes de production d'eau chaude à usage domestique fournissent de l'eau potable pour le lavage et le nettoyage. La plupart des bâtiments de type commercial sont équipés d'une installation de production d'eau chaude à usage domestique.

Ces installations ressemblent à celles que l'on emploie pour le chauffage à l'eau chaude, mais s'en distinguent par le fait que l'eau y est potable et ne peut être traitée chimiquement. Elles sont alimentées en eau par le réseau municipal de distribution.

On distingue deux types de systèmes de production d'eau chaude à usage domestique: les chauffe-eau autonomes et les installations centrales. Les premiers sont utilisés à l'endroit même où ils sont installés, ne comportent donc pas de longues canalisations de distribution de l'eau et ne donnent pas lieu aux déperditions thermiques qu'elles entraînent.

Les installations centrales, plus courantes, comportent des canalisations qui distribuent l'eau chaude en divers points du bâtiment. Elles se composent en général des éléments suivants:

- Un générateur d'eau chaude qui fonctionne à la vapeur, au gaz ou au moyen de résistances électriques.
- Un réservoir (souvent incorporé au générateur).
- Des tuyaux (généralement en cuivre).
- Des pompes de circulations.
- Des robinets, pommes de douches, etc.
- Des dispositifs de régulation de la température de l'eau et, parfois, de son débit dans les installations où on l'emploie.

La figure 5.1 représente le schéma type d'une installation de production d'eau chaude à usage domestique. On trouvera dans le présent chapitre la liste des mesures permettant d'économiser l'énergie dans les installations de ce genre.

5.2 Mesures destinées à économiser l'énergie

Ces mesures, décrites ci-après, s'appliquent aux divers éléments identifiés dans la figure 5.1.

1. **Installer des clapets de retenue**

a) Ces clapets ne permettent la circulation de l'eau que dans un seul sens.

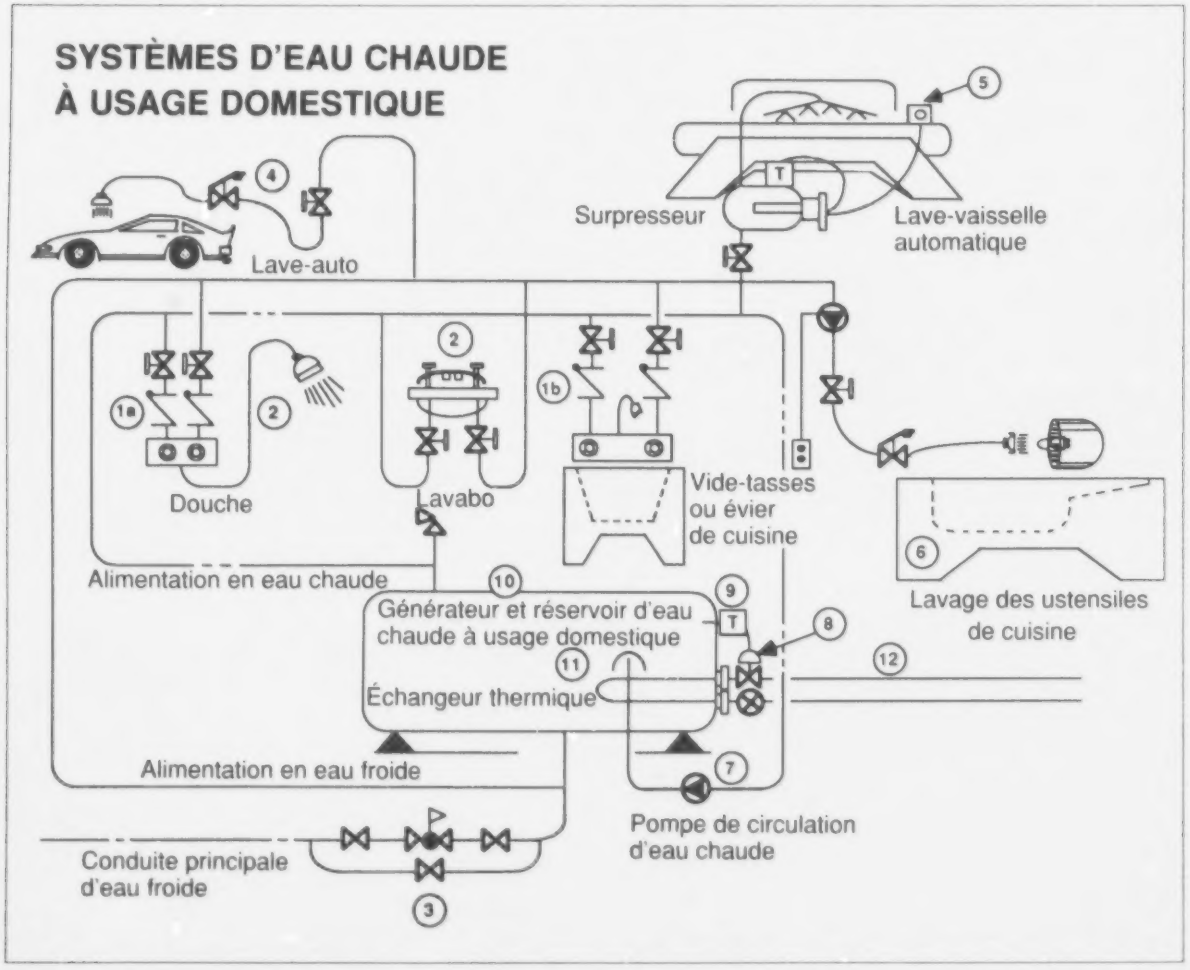
b) On doit munir de clapets de retenue toutes les installations comportant une cuve de mélange ou n'ayant qu'un seul robinet. Lorsque les circuits d'eau chaude et d'eau froide ne sont pas à la même pression, ces clapets empêchent le refoulement de l'eau d'un circuit dans l'autre.

2. **Pommes de douches et robinets**

Pour réduire la consommation d'eau chaude, employer des pommes de douches à débit restreint (0,25 litre/seconde). Dans les zones à forte consommation, envisager l'emploi de robinets à poussoir.

Régler les robinets-vannes et les vannes sphériques de façon à limiter le débit de l'eau à 0,075 litre/seconde dans les lavabos et à 0,15 litre/seconde dans les éviers. (Ces recommandations ne s'appliquent pas aux installations munies de robinets et soupapes d'arrêt.)

Figure 5.1



3. **Pression d'alimentation**

Réduire la pression (et le débit) d'alimentaion en eau de façon à obtenir 110 kPa à l'extrémité supérieure de la tuyauterie de distribution en période de consommation maximale. Cette mesure a pour effet de diminuer le débit aux points d'utilisation. Bien qu'elle ne change en rien la quantité d'eau consommée pour un bain (étant donné que le volume d'une baignoire est fixe), cette méthode permet par contre de réduire la quantité d'eau que l'on consomme pour se laver les mains ou prendre une douche, car c'est le temps qui est ici le facteur déterminant de la consommation.

Note: Cette mesure n'est pas toujours applicable. Il importe de vérifier le fonctionnement des soupapes mélangeuses d'eau chaude et d'eau froide. On ne doit pas mettre en oeuvre la présente mesure lorsque la différence de pression entre les circuits d'eau chaude et d'eau froide est considérable.

4. **Lavage des planchers et des véhicules**

N'employer que de l'eau froide pour les laver.

5. **Lave-vaisselle**

Munir les lave-vaisselle d'une cellule photoélectrique et d'un temporisateur pour arrêter automatiquement le surpresseur d'eau chaude dès que l'on a sorti les porte-assietes.

6. **Évier**

Ne pas laver à l'eau chaude les ustensiles de cuisine. Emloyer de préférence un puissant jet d'eau froide produit, si possible, par une pompe à pression.

7. **Tuyauterie de distribution**

Pour réduire les pertes, arrêter la pompe de circulation une heure après le départ des occupants. La remettre en marche une heure (ou moins) avant leur arrivée. Choisir une pompe ayant un débit maximal de 1 litre/seconde, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie électrique du moteur et de diminuer les pertes.

8. **Réservoirs d'eau chaude**

Pour réduire les déperditions, arrêter le générateur d'eau chaude lorsque l'on prévoit qu'il n'y aura aucune consommation pendant une période de trois jours ou plus.

9. **Thermostat des réservoirs d'eau chaude**

Il est recommandé de ramener la température de l'eau à 60°C dans les bâtiments équipés de douches, et à 45°C dans les autres. Vérifier la température de l'eau aux points de consommation ainsi que dans le réservoir. (Cette mesure est également importante sur le plan de la sécurité, notamment pour éviter les cas de brûlure).

10. **Calorifugeage des réservoirs d'eau chaude**

Le réservoir et les tuyaux doivent être calorifugés. Étudier le coût du calorifugeage dans chaque installation et ne pas hésiter à calorifuger les réservoirs et tuyaux si l'opération est rentable. Boucher les canalisations ascendantes pour réduire le déplacement de l'air et les pertes de calories par la tuyauterie.

11. **Échangeur thermique**

Maintenir l'échangeur en bon état de propreté pour obtenir un bon échange de chaleur.

12. **Source d'eau chaude**

Envisager l'emploi d'une chaudière distincte pour la production d'eau chaude à usage domestique en été, car il serait trop onéreux d'utiliser une chaudière de grande puissance à cette seule fin. Comme solution de rechange (permanente ou saisonnière), envisager l'emploi de l'électricité (hors période de pointe) pour le chauffage de l'eau à usage domestique.

6.0

Systèmes de refroidissement et pompes à chaleur

6.0 SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT ET POMPES À CHALEUR

6.1 Introduction

Ce chapitre examine deux des types les plus courants de systèmes de refroidissement utilisés dans les bâtiments à usage commercial et institutionnel, c'est-à-dire les systèmes à détente directe et ceux à eau froide. Un diagramme type de chacun de ces systèmes est examiné et l'on décrit les économies d'énergie réalisables par des mesures d'entretien ou des moyens ne nécessitant qu'un faible coût en capital. Il ne sera donc pas question ici des améliorations coûteuses, à longue durée d'amortissement.

Il n'est pas nécessaire de lire ce chapitre d'un bout à l'autre. Il vous suffit d'en étudier les sections qui s'appliquent au type d'équipement de refroidissement dont vous êtes responsable. L'idéal serait de faire la tournée de votre installation en ayant le présent chapitre à la main.

6.2 Refroidissement par détente directe

Dans cette méthode de refroidissement de l'air, le fluide frigorigène est introduit directement dans un serpentin de refroidissement situé dans l'unité de traitement de l'air. Après évaporation (détente) dans le serpentin, le fluide frigorigène est aspiré vers le compresseur, porté à une pression plus élevée, puis envoyé dans un condenseur dont les parois sont refroidies à l'eau ou à l'air. Au contact de ces parois, le gaz frigorigène tombe à une température inférieure au point de rosée, passe ainsi à l'état liquide et est renvoyé dans le serpentin.

Un réservoir situé entre le condenseur et le serpentin contient une quantité de fluide frigorigène suffisante pour supporter de grosses variations de la charge de refroidissement.

Les systèmes de refroidissement par détente directe peuvent être de toutes tailles. Les plus gros sont représentés par les centrales frigorifiques assurant le refroidissement de grands bâtiments, tandis que les plus petits appartiennent à la catégorie des climatiseurs que l'on installe aux fenêtres. Dans certains modèles, des soupapes permettent d'intervertir les fonctions du condenseur et de l'évaporateur. Ces appareils fonctionnent alors comme des pompes à chaleur, assurant le chauffage ou le refroidissemnent des locaux, selon les besoins de chaque saison.

La présente section traite des mesures applicables aux appareils de refroidissement à détente directe appartenant à l'une des deux catégories suivantes:

- Centrales frigorifiques.
- Climatiseurs pour fenêtres.

6.2.1 Centrales frigorifiques à détente directe

La figure 6.1 est le schéma type d'une instllation de ce genre.

Les mesures de gestion énergétique décrites ci-après ont trait aux éléments portant les chiffres correspondants dans le schéma.

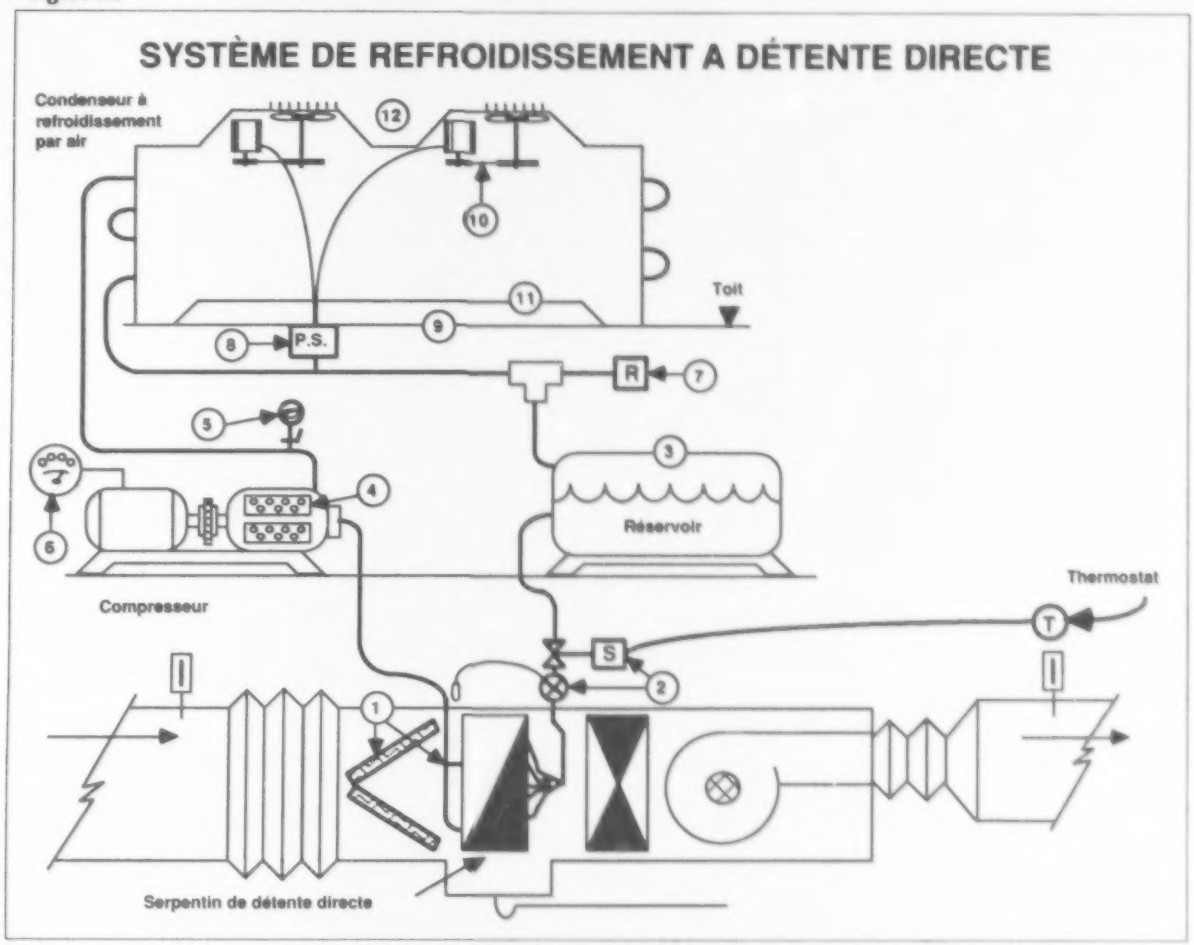
1. **Serpentin de détente directe**

En vue d'améliorer le rendement de l'installation, veiller à maintenir constamment la propreté des filtres et des serpentins. Il importe à cette fin de les inspecter mensuellement.

2. **Détendeur**

Pour améliorer le cycle de réfrigération, régler le détendeur de façon à obtenir la température d'évaporation maximale compatible avec la charge de refroidissement et le dimensionnement du serpentin. (Des fuites par le détendeur sont révélées par un fréquent cyclage du compresseur.) Au besoin, consulter un spécialiste.

Figure 6.1



3. Frigorigène

Vérifier régulièrement la charge de frigorigène. Le manque de frigorigène provoque l'abaissement de la pression d'aspiration et augmente la consommation d'énergie du compresseur. Ce manque est d'habitude révélé par une ligne de liquide tiède.

4. Fonctionnement du compresseur

Arrêtez le système durant les périodes d'inoccupation des locaux, sauf en cas de canicule, où il peut être difficile de satisfaire rapidement la demande de refroidissement au retour des occupants.

Si l'arrêt du système est saisonnier, on doit arrêter le dispositif de chauffage du carter du compresseur. **Remarque:** Ce dispositif assure un préchauffage de 24 heures avant remise en route du compresseur au début de la saison suivante.

5. Condenseur

Au bout d'un certain temps, le condenseur peut s'encrasser ou se corroder sous l'effet de l'humidité présente dans le système. La corrosion et l'encrassement sont généralement révélés par une élévation de la pression de refoulement à charge constante. Il importe donc de tenir un registre où l'on inscrit les relevés mensuels de la pression du condenseur et de la charge de refroidissement.

6. **Consommation d'énergie**

Tenir un registre de la consommation mensuelle d'électricité et comparer la consommation du mois courant à celles des mois précédents. Les écarts doivent s'expliquer en fonction de variations d'ordre climatique ou de fluctuations des charges de refroidissement ou du rendement de l'équipement.

7. **Soupape de régulation de la pression du condenseur**

Pour réduire l'engorgement du condenseur, régler cette soupape à la pression minimale requise pour le fonctionnement du système.

8. **Manostat**

Une pression de refoulement trop élevée augmente la charge du compresseur, donc la consommation d'énergie. Il importe par conséquent de vérifier périodiquement le manostat pour s'assurer qu'il est réglé à la pression spécifiée pour votre système.

9. **Condenseurs installés sur le toit**

Le gravier répandu sur le sol dans le voisinage des condenseurs doit être de couleur pâle, ce qui permet de réduire le rayonnement thermique du sol et l'absorption de ces calories par l'équipement, phénomène qui nuit au rendement des appareils sur le plan du refroidissement.

10 **Ventilateur du condenseur**

Un mauvais réglage de la tension de la courroie du ventilateur nuit au rendement de l'appareil et allonge son temps de marche. Le bon réglage de cette tension permet par contre d'optimiser la consommation d'énergie du ventitaleur.

11. **Ailettes de refroidissement du condenseur**

Veiller à les nettoyer au printemps, avant le démarrage.

12. **Pulvérisation d'eau à la surface du condenseur**

Envisager l'installation de pulvérisateurs d'eau pour réduire la pression de refoulement par temps chaud (dans le cas de systèmes à usage intensif). La pulvérisation d'eau à la surface du condenseur augmente l'efficacité de la condensation. Veiller cependant à ne recourir à cette mesure qu'après consultation d'un spécialiste.

6.2.2. Climatiseurs pour fenêtres

13. **Arrêt saisonnier**

Fermer le registre d'air neuf à la fin de la saison chaude. Si possible, enlever l'appareil avant la saison de chauffage. Sinon y installer une cloison en polyéthylène pour faire obstacle à la pénétration de l'air.

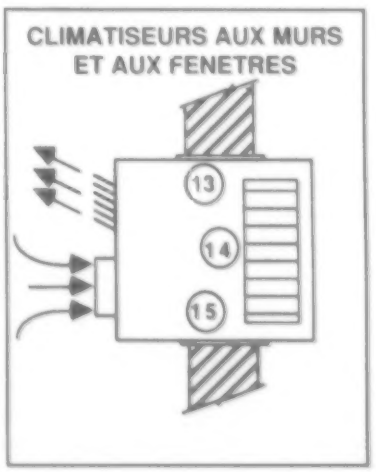
14. **Filtres, serpentins de refroidissement et de condensation**

Nettoyer régulièrement tous les éléments pour maintenir le rendement des appareils au niveau optimal. Au printemps, avant le démarrage, veiller à nettoyer les ailettes.

15. **Arrêt des appareils**

Arrêter les appareils durant les périodes d'inoccupation des locaux.

Figure 6.2



6.3 Refroidissement par eau froide

Cette méthode est employée dans les grands bâtiments ou dans les centrales servant à la production de froid pour un ensemble de bâtiments. La figure 6.3 est un schéma type de ce genre de système, succintement décrit ci-dessous.

L'eau est refroidie dans un évaporateur, où sa température est abaissée à une valeur comprise entre 6 et 12°C, puis distribuée aux appareils de traitement de l'air du bâtiment. Le principe de fonctionnement de l'évaporateur est le même que celui du refroidisseur à détente directe, où l'on emploie un cycle de réfrigération pour refroidir l'eau.

On fait circuler un fluide frigorigène dans l'évaporateur au moyen d'un compresseur (à vis, à piston ou bien de type centrifuge) qui comprime le gaz frigorigène et en élève la température jusqu'à environ 60°C. La condenseur transforme ensuite ce gaz en liquide et celui-ci est réutilisé dans l'évaporateur.

La chaleur éliminée dans le cycle de réfrigération est normalement envoyée dans une tour de refroidissement. De l'eau circulant à 30°C absorbe les calories dans le condenseur, est refroidie dans la tour, puis renvoyée au condenseur. On peut aussi rejeter ces calories dans un condenseur refroidi à l'air ou bien s'en débarrasser dans un cours d'eau ou un lac des environs. On peut enfin s'en servir dans un système de récupération de la chaleur.

Les mesures de gestion énergétique décrites ci-après ont trait aux éléments portant les chiffres correspondants dans le schéma.

1. Température de l'eau de refroidissement

Il importe de régler cette température le plus haut possible, en fonction de la charge de refroidissement requise.

2. Frigorigène

S'assurer que le système fonctionne toujours avec une quantité suffisante de frigorigène, faute de quoi il y a baisse de la pression d'aspiration et augmentation de la consommation énergétique du compresseur. Vérifier régulièrement la charge de frigorigène de l'installation.

Lorsqu'on emploie du R11 comme frigorigène, il faut régulièrement analyser le liquide afin d'en déterminer la teneur en huile. Se conformer aux spécifications du fabricant (1-2% environ). La vérification du frigorigène doit se faire au moins deux fois l'an, en règle générale lors de la mise en route (printemps), puis à l'arrêt des installations (automne).

3. Compteurs d'énergie

Pour contrôler le rendement des refroidisseurs, munir de compteurs d'énergie les installations de 100 kW (100 tonnes ou plus).

4. Manomètre

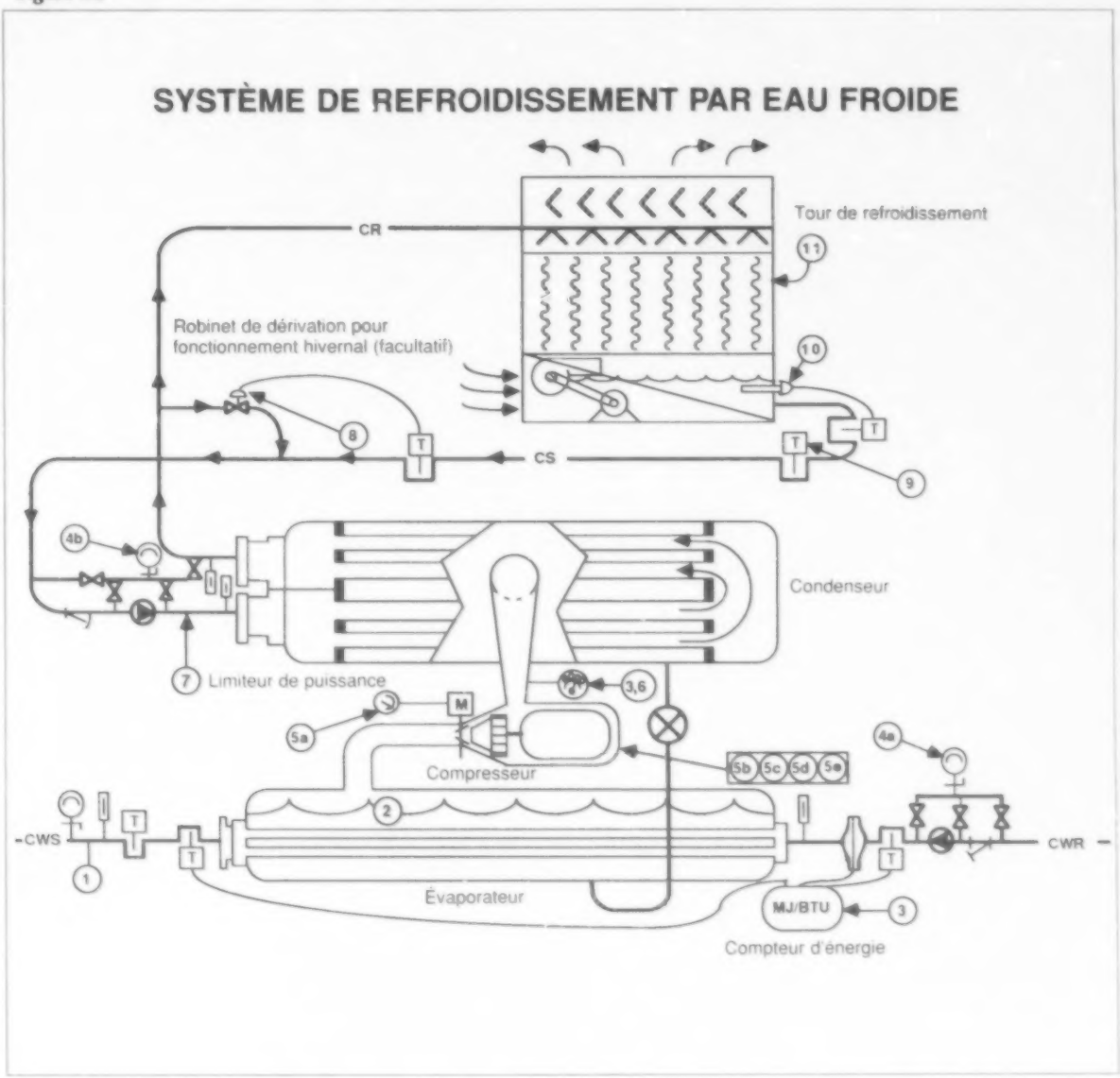
La perte de charge dans le circuit de l'eau doit être contrôlée avec régularité. Installer à cette fin un manomètre et les robinets nécessaires. La perte de charge est un signe d'encrassage des tubes, lequel finit par augmenter la consommation d'énergie du refroidisseur.

5. Refroidisseur/compresseur

5a. Fonctionnement du refroidisseur

Si le fournisseur d'énergie électrique facture des primes de puissance, éviter de faire fonctionner le refroidisseur à pleine charge durant les périodes de pointe du mois. Pour ce faire, employez un limiteur de puissance. Faire démarrer le refroidisseur tôt dans la matinée de façon à amener la température des locaux à un niveau inférieur à celui exigé, puis faire fonctionner l'installation à charge partielle durant les périodes de pointe, de façon à laisser remonter lentement la température.

Figure 6.3



5b. **Fonctionnement saisonnier**

Arrêter le refroidisseur et les pompes durant les périodes d'inoccupation des locaux, sauf si l'on est en pleine canicule.

5c. **Facteur de puissance**

Si le producteur d'énergie électrique vous facture des pénalités pour médiocrité du facteur de puissance, ou si les appels de puissance sont mesurés en kVA, demandez à un consultant ou aux fournisseurs d'évaluer la rentabilité d'une installation éventuelle de condensateurs.

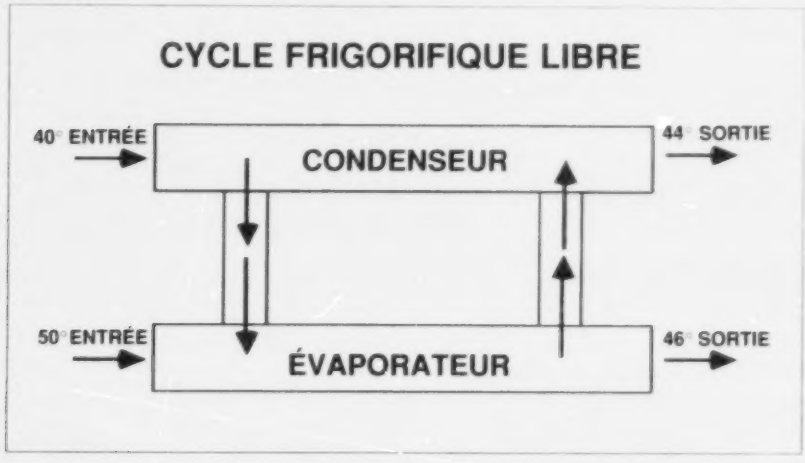
5d. **Réchauffeurs de carter**

Pour réduire les déperditions thermiques, arrêter ces réchauffeurs durant les saisons où l'installation n'est pas en service. **Remarque :** Prévoir un réchauffage de 24 heures avant la remise en service du refroidisseur.

5e. **Fonctionnement du refroidisseur en hiver**

S'il faut utiliser le refroidisseur en hiver, il est bon de faire une étude pour analyser son fonctionnement en mode libre. Même un refroidisseur conventionnel peut fonctionner de cette façon. Une autre solution consiste à employer la tour de refroidissement en guise de refroidisseur. Envoyer l'eau froide du condenseur dans un ou plusieurs serpentins de refroidissement d'un appareil de climatisation.

Figure 6.4



6. **Compteur d'électricité**

Installer un compteur d'électricité et contrôler régulièrement le rendement énergétique. Se reporter au chapitre 3 (Exploitaion et entretien) pour ce qui a trait aux tableaux de marche.

7. **Pression du frigorigène et de l'eau**

Noter la pression du frigorigène à la sortie du condenseur, ainsi que la perte de charge subie par l'eau dans l'appareil. Cela permet de déceler l'encrassage progressif du condenseur.

8. **Robinet de dérivation**

Régler l'ouverture de ce robinet de façon à ce que l'eau du condenseur soit à la température minimale admissible.

9. **Régulation de la température de l'eau du condenseur**

Abaisser cette température au minimum admissible pour le modèle et le type de refroidisseur utilisé.

10. **Réchauffeur d'eau de la tour de refroidissement**

Fixer le point de consigne du régulateur de température de l'eau au niveau minimum admissible (par exemple 5°C, c'est-à-dire légèrement au-dessus du point de congélation). On évite ainsi une élévation excessive de la température de l'eau dans la tour. En période de refroidissement, s'assurer que le réchauffeur ne fonctionne pas lorsque l'eau est à 27°C.

11. **Tour de refroidissement**

Inspecter régulièrement la tour pour:

- déceler le blocage des pulvérisateurs et les nettoyer;
- déceler les défauts de distribution de l'air et modifier le garnissage de la tour pour y remédier;
- déceler une recirculation d'air humide et installer des chicanes ou un diffuseur pour empêcher ce phénomène;
- maintenir un traitement convenable de l'eau afin d'empêcher l'entartrage, l'accumulation des algues et les contaminations biologiques (bactériennes).

6.4 Pompes à chaleur

Une pompe à chaleur (ou thermopompe), c'est essentiellement un cycle frigorifique dans lequel les calories cédées au condenseur servent au chauffage. La chaleur totale fournie au condenseur est égale à la somme des calories extraites dans l'évaporateur et des calories produites par la compression du frigorigène dans le compresseur.

La pompe à chaleur ne peut fonctionner sans source thermique. Dans le cas du chauffage des habitations, on emploie comme source de calories l'air extérieur, le sol ou bien de l'eau. Dans les grands bâtiments, on peut employer la chaleur dégagée par les appareils d'éclairage ou les ordinateurs. La demande de chaleur et la demande de froid doivent être simultanées dans le cas d'une source thermique située à l'intérieur du bâtiment. Si elles ne le sont pas, on doit disposer d'un stockage thermique qui permettra d'utiliser plus tard les calories ainsi stockées.

Les thermopompes présentent les avantages suivants:

1. Elles fournissent un chauffage plus économique que les combustibles fossiles, à condition d'avoir une source de calories perdues.

2. Elles permettent de recycler ces calories dans le bâtiment, donc de réduire les achats d'énergie destinée au chauffage.

3. Elles peuvent généralement servir au chauffage des locaux aussi bien qu'à leur refroidissement.

Les thermopompes et les machines frigorifiques sont classées selon leur coefficient de performance (P). Celui des thermopompes est donné par la formule suivante:

$$P = \frac{\text{Chaleur cédée par le condenseur}}{\text{Énergie fournie au compresseur}}$$

Celui des machines frigorifiques s'exprime par:

$$P = \frac{\text{Chaleur pompée à partir de l'évaporateur}}{\text{Énergie fournie au compresseur}}$$

Il va de soi que plus P augmente, plus l'appareil est efficace.

Les mesures de gestion énergétique applicables aux thermopompes des grands bâtiments sont les mêmes que celles qui ont été précédemment décrites dans le présent chapitre.

7.0
Systèmes de traitement de l'air

7.0 SYSTÈMES DE TRAITEMENT DE L'AIR

7.1 Introduction

Un système de traitement de l'air se compose d'une unité de traitement et du matériel de distribution connexe: gainage, registres et diffuseurs. La figure 7.1 représente le schéma type d'un système dans lequel un thermostat permet la régulation des registres, du serpentin de chauffage et du serpentin de refroidissement. Un autre dispositif de régulation contrôle le degré d'humidité et actionne au besoin un humidificateur à pulvérisation.

On donne le nom d'unité de traitement de l'air à un dispositif de ventilation qui, installé dans un bâtiment, permet:

- de faire circuler dans tous les locaux de l'air à la pression et à la vitesse souhaitées;
- de filtrer et de conditionner l'air en mettant en oeuvre des procédés de refroidissement, de chauffage, d'humidification et de déshumidification;
- de mélanger à l'air recyclé une quantité déterminée d'air neuf.

Une unité de traitement type peut réunir la totalité des éléments suivants ou bien quelques-uns d'entre eux:

- ventilateur(s);
- filtres;
- serpentins de chauffage, refroidissement et déshumidification;
- humidificateur;
- registres destinés à régler la circulation de l'air et à mélanger l'air neuf et l'air recyclé;
- dispositifs de régulation de la température et de l'humidité de l'air circulant dans les locaux.

On distingue deux types de systèmes de traitement de l'air: les systèmes à distribution et les systèmes à évacuation. Les mesures communes aux deux types sont décrites en 7.2, tandis que la section 7.3 traite des mesures destinées aux systèmes à distribution et la section 7.4 des mesures propres aux systèmes à évacuation.

7.2 Mesures générales

Les mesures décrites ci-après s'appliquent aux éléments portant les numéros correspondants dans la figure 7.1.

Améliorations peu coûteuses

1. **Modification des registres**

Si les registres d'entrée et de sortie du système sont à lames parallèles, envisager leur transformation en registres à lames opposées. En effet, ces derniers permettent une meilleure régulation du débit de l'air et leur fermeture est plus hermétique. Il est également bon d'installer des joints d'étanchéité sur les bords et les côtés des registres pour réduire les fuites d'air.

Entretien

2. **Marche et arrêt**

Arrêter les unités de traitement de l'air en prévision de l'inoccupation des locaux pendant la nuit. Quand une unité assure le chauffage des locaux en période d'inoccupation, installer une régulation thermostatique qui remet en marche l'unité dès que la température descend au-dessous du point de consigne; en outre, régler le système de façon à n'employer que de l'air recyclé.

3. **Systèmes de chauffage/refroidissement**

Régler le dispositif de commande de façon à empêcher l'emploi simultané des serpentins de chauffage et de refroidissement.

4. **Serpentins de refroidissement**

L'encrassement des serpentins réduit leur efficacité et augmente la charge du système de refroidissement, qui exige une eau trop froide ou une basse température d'évaporation (dans le cas des serpentins de refroidissement par détente directe) pour produire la même quantité de froid, d'où augmentation de l'énergie à fournir au système. Pour maintenir le rendement, conserver la propreté des surfaces en contact avec l'air et faire circuler dans les serpentins une eau ayant subi un traitement destiné à empêcher leur entartrage.

5. **Système de chauffage**

Pour éviter l'emploi du système de chauffage en été, fermer les serpentins. Installer un capteur dans le circuit d'air recyclé pour assurer la régulation de la température de l'air fourni aux locaux. Avant de régler le point de consigne des thermostats en été, veiller à fermer les serpentins.

6. **Humidificateur**

Comme les capteurs hygrométriques sont rarement fiables, il vaut mieux mesurer le degré hygrométrique des locaux au moyen d'un instrument ayant une justesse et une précision convenables, tel un psychromètre à fronde, après quoi on peut régler le point de consigne et faire réviser les capteurs chaque fois que cela est nécessaire. Pour éviter les condensations, installer un hygrostat à limite élevée dans le gainage d'alimentation en air.

Note : Les psychromètres à fronde ne sont justes et précis que si l'on y utilise de l'eau distillée. En outre, veiller à remplacer fréquemment la gaine en mousseline du réservoir humide.

7. **Gaines**

Les fuites d'air par les gaines de distribution ont pour effet de réduire le rendement du système, aussi bien sur le plan du chauffage et du refroidissement que sur celui du traitement de l'air. Il est donc utile d'inspecter le réseau de gaines une ou deux fois l'an en vue d'y déceler tout ce qui peut nuire au rendement: fuites d'air aux joints de raccordement, déchirures des raccords flexibles, défauts d'étanchéité des portes de visite. Veiller à faire réparer ou remplacer les éléments présentant des défauts d'étanchéité.

8. **Filtres**

Procéder régulièrement au nettoyage des filtres. Leur encrassage réduit l'efficacité du système de distribution de l'air et augmente la consommation d'énergie.

9. **Registres des prises d'air neuf**

Inspecter mensuellement les registres des prises d'air neuf et s'assurer qu'ils sont parfaitement étanches en position de fermeture.

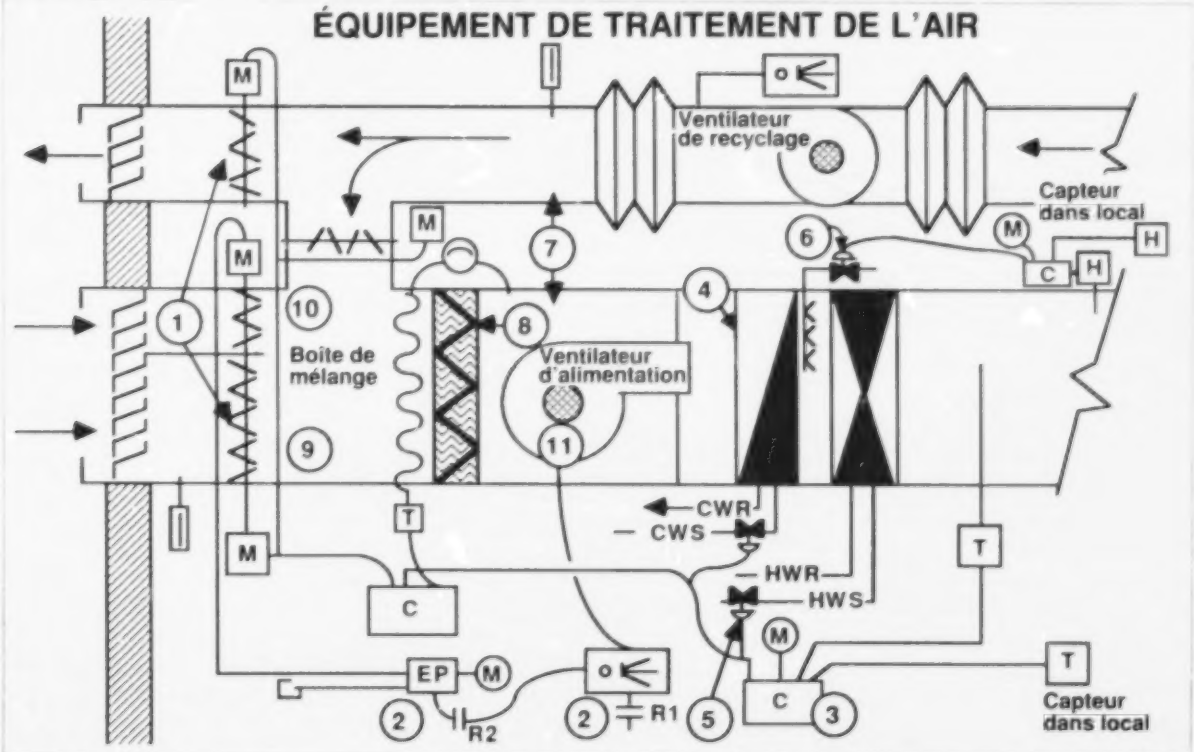
10. **Prise d'air neuf**

À chaque modification du nombre d'occupants ou des taux d'occupation à long terme, demander à un technicien compétent de recalculer les besoins en air neuf. Régler l'ouverture des registres des prises d'air neuf de façon à introduire dans le système de traitement le volume d'air nécessaire. Voir à ce sujet le chapitre 8 (Qualité de l'air).

11. **Systèmes à haute pression**

Dans les systèmes à haute pression (plus de 1 kPa), régler la vitesse du ventilateur ou ses ailettes d'aspiration de façon à obtenir une pression statique optimale. La valeur de celle-ci dépend de la pression statique à maintenir dans le tronçon de gaine le plus éloigné du réseau de distribution de l'air.

Figure 7.1



7.3 Systèmes à distribution

Du point de vue de la gestion énergétique, ces systèmes se répartissent en six groupes:

- Systèmes multizones à double gaine
- Systèmes à réchauffage terminal
- Systèmes à 100% d'air extérieur
- Systèmes à volume constant et température variable
- Systèmes à volume variable
- Systèmes à induction

Pour être performants, les systèmes doivent être équilibrés.

On trouve aujourd'hui de nouveaux types de diffuseurs munis de réglages de volume d'air variable. Ces dispositifs peuvent être employés pour contrôler la ventilation de locaux individuels.

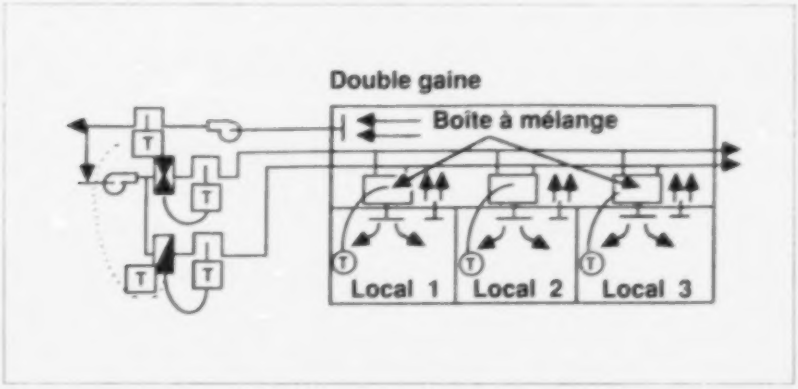
Dans certains cas, il est utile d'examiner la possibilité d'employer des systèmes à thermopompes en circuit fermé, amélioration majeure dont l'étude exige néanmoins l'aide de spécialistes.

Le reste de la présente section décrit chacun des six types sus-mentionnés et examine les mesures de gestion énergétique qui s'y appliquent.

7.3.1 Systèmes multizones à double gaine

Dans ces systèmes, l'air est fourni au bâtiment par deux gaines parallèles. On envoie dans la première, à longueur d'année, de l'air à environ 13°C. On qualifie d'habitude cette gaine de «froide». Dans la seconde, on fait circuler de l'air à une température comprise entre 32°C et 50°C. On augmente cette température à mesure que diminue la température extérieure. On qualifie ordinairement cette gaine de «chaude».

Figure 7.2



La plupart des systèmes installés autrefois dans les bâtiments de grande ou moyenne taille sont à double gaine et desservent entre 2 et 15 zones, chacune équipée d'une boîte à mélange où les proportions d'air chaud et d'air froid sont réglées à l'aide d'un thermostat installé dans le local dont on veut maintenir le degré de confort. Dans un système multizones, l'air des gaines chaude et froide est mélangé, puis introduit dans la zone par une seule gaine.

Les trois mesures qui s'appliquent aux systèmes de ce type sont décrites ci-dessous.

1. **Durant les nuits d'été, n'employer que de l'air extérieur**

En été, si le bâtiment est inoccupé durant la nuit, faire fonctionner le système avec 100% d'air extérieur, de façon à rafraîchir les locaux avant le début de la journée suivante. Recourir à cette

méthode chaque fois que la température extérieure est inférieure de 2°C (ou plus) à la température intérieure, à condition que l'humidité de l'air extérieur ne soit pas excessive.

2. **Réglages saisonniers**

La température de la gaine chaude et celle de la gaine froide peuvent être réglées en fonction de la charge saisonnière de chauffage ou de refroidissement. Le point de consigne choisi pour chacune des gaines doit être aussi proche que possible de la température du local, tout en permettant le maintien du degré de confort voulu dans toutes les parties du bâtiment (réglage différentiel). Le dispositif de réglage différentiel détecte les maxima et les minima des besoins de chauffage et de refroidissement et modifie le point de consigne de la température de la gaine chaude et de la gaine froide de façon à les amener respectivement au minimum et au maximum.

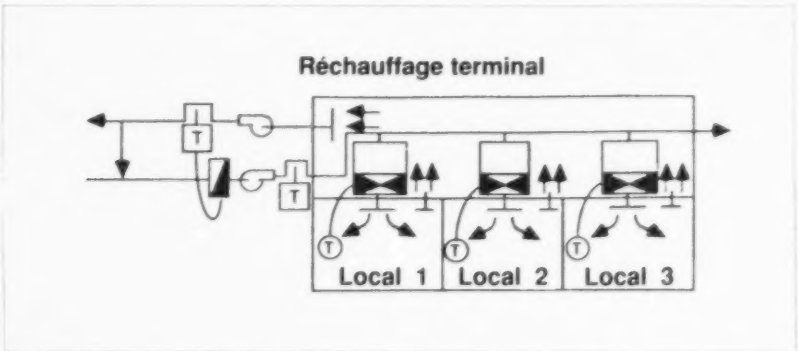
3. **Système de chauffage (été)**

En été, quand la température des locaux n'est pas cruciale, il convient d'arrêter le fonctionnement du serpentin de chauffage et de régler la température de la gaine froide au moyen du capteur du circuit d'air recyclé. N'utiliser la gaine chaude que si la température intérieure descend au-dessous de 20 °C.

7.3.2 Systèmes à réchauffage terminal

Dans ces systèmes, l'air est fourni aux locaux à la température constante de 13 °C. Si la température du local descend au-dessous d'une valeur déterminée (le point de consigne), un thermostat actionne un serpentin de réchauffage situé dans la gaine d'alimentation en air. Ces systèmes sont couramment employés dans les hôpitaux et les immeubles à bureaux.

Figure 7.3



Les deux mesures qui s'appliquent aux systèmes de ce type sont décrites ci-après.

1. **Réglage saisonnier du réchauffage terminal**

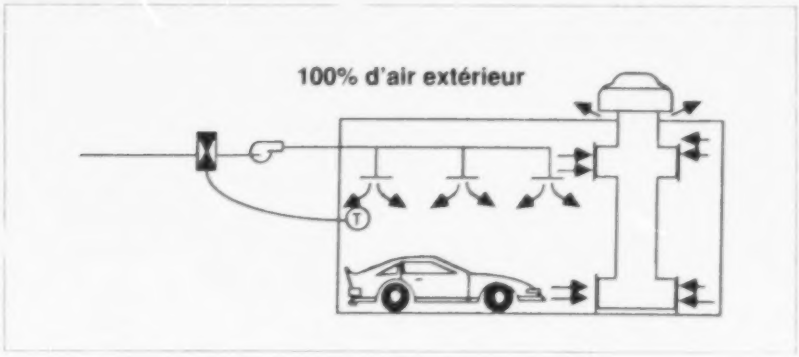
On règle au début de chaque saison (ou plus souvent) la température de l'air fourni aux locaux, en choisissant un point de consigne aussi voisin que possible de la température intérieure, ce qui permet de maintenir le degré de confort voulu. L'emploi d'un dispositif de réglage différentiel permet de porter au maximum la température de l'air fourni aux locaux tout en en réduisant le réchauffage.

2. **Arrêter le fonctionnement des serpentins de réchauffage en été**

En été, quand la température des locaux n'est pas cruciale, il convient d'arrêter le fonctionnement des serpentins de réchauffage et de régler la température du serpentin de refroidissement au moyen du capteur du circuit d'air recyclé. Ne recourir au réchauffage que si la température intérieure descend au-dessous de 20°C. Envisager l'élimination des serpentins de réchauffage dans tous les locaux et équilibrer la ventilation de façon à maintenir partout le degré de confort voulu. Demander toutefois conseil à un spécialiste compétent avant de mettre en oeuvre cette mesure.

7.3.3 Systèmes à 100% d'air extérieur

Figure 7.4



L'air introduit dans un tel système est destiné à remplacer celui qui est évacué par les hottes des cuisines, les cabines de ventilation des ateliers de peinture et autres équipements d'atelier. Le conditionnement de l'air neuf se limite en général à son réchauffage. Un thermostat installé dans les locaux sert à régler la quantité de chaleur nécessaire au maintien du degré de confort voulu.

Les trois mesures de gestion énergétique qui s'appliquent aux systèmes de ce type sont décrites ci-dessous.

1. **Réduction du besoin de chauffage**

Pour réduire le besoin de chauffage, il est recommandé d'arrêter le système durant les périodes d'inoccupation des locaux (ajouter un recyclage d'air si le système sert au chauffage). Envisager également la réduction du volume d'air neuf introduit dans le système et/ou celle du volume d'air à évacuer.

Remarque: Si le chauffage est fourni par un système à caloporteur liquide, éviter le gel du serpentin à l'arrêt ou au redémarrage du système.

2. **Fonctionnement des systèmes**

Limiter le fonctionnement de l'alimentation et de l'évacuation par l'emploi de:

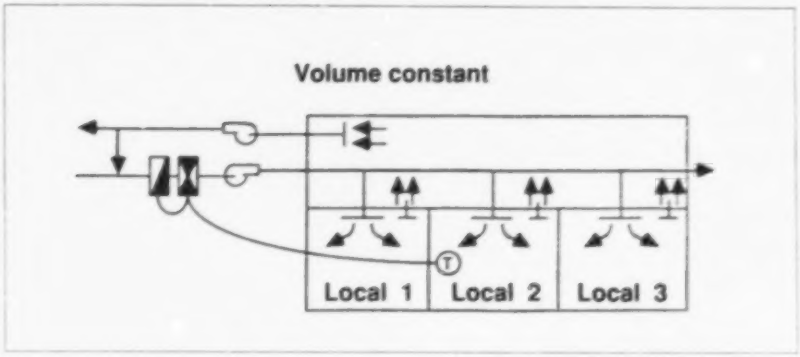
- chronorupteurs (hottes, cabines de ventilation des ateliers de peinture, bancs de soudage);
- détecteurs d'oxyde de carbone (garage et stationnement intérieur);
- détecteurs d'occupation (salle de douches).

3. **Emploi de récupérateurs de chaleur**

Si le système fonctionne pendant plus de 90 heures par semaine, envisager l'installation d'un récupérateur de chaleur qui utilise l'air évacué pour réchauffer l'air frais arrivant de l'extérieur.

7.3.4 Systèmes à volume constant et température variable

Figure 7.5



Ces systèmes, destinés à des locaux de dimensions modestes (auditorium, gymnase ou salle de réunion), comportent aussi parfois un matériel complet de climatisation. En règle générale, un thermostat installé dans le local permet la régulation de l'équipement de chauffage et de refroidissement.

Les deux mesures qui s'appliquent aux systèmes de ce type sont décrites ci-dessous.

1. **Réglage des thermostats**

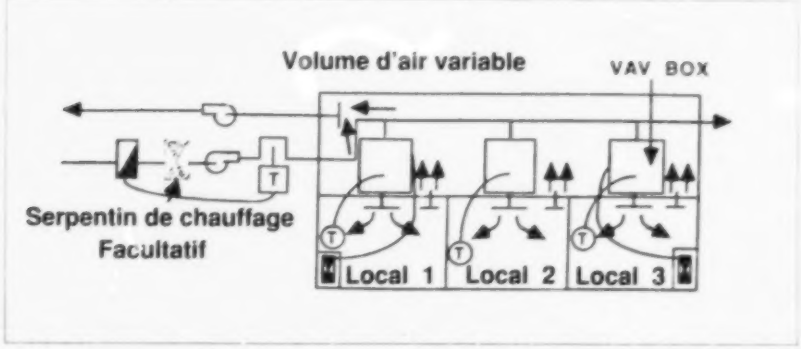
Vérifier les thermostats pour s'assurer que les points de consigne du chauffage et du refroidissement sont fixés respectivement à 20°C et 26°C et séparés par une zone morte.

2. **Chauffage (fonctionnement estival)**

Si possible, arrêter le fonctionnement du serpentin de chauffage en été.

7.3.5 Systèmes à volume d'air variable (VAV)

Figure 7.6



Les systèmes de ce type ressemblent beaucoup aux systèmes à réchauffage terminal, à cette différence près que le thermostat installé dans les locaux sert à la régulation du chauffage aussi bien qu'à celle du volume d'air fourni. La séquence régulatrice réduit l'air frais au minimum avant de mettre en marche le chauffage. Les systèmes à volume d'air variable sont couramment utilisés dans les immeubles à bureaux.

Les trois mesures de gestion énergétique qui s'appliquent aux systèmes de ce type sont décrites ci-dessous.

1. **Chauffage (fonctionnement estival)**

En été, arrêter le fonctionnement des plinthes chauffantes et des serpentins de réchauffage. Durant les autres saisons, régler périodiquement la température de l'eau chaude alimentant les radiateurs de façon à répondre à la demande de chauffage du bâtiment.

2. **Réglage de la température de l'air fourni (en hiver)**

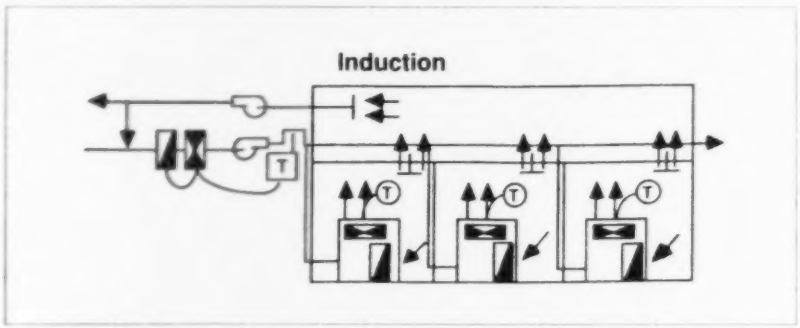
Dans le cas des zones ayant besoin d'un supplément de chaleur en hiver (locaux situés sur le périmètre du bâtiment), augmenter la température de l'air fourni de façon à accroître la circulation de l'air et à réduire les besoins de réchauffage.

3. **Régulation du volume d'air**

Envisager d'installer un moteur à deux vitesses ou bien d'équiper le moteur existant d'un inverseur de fréquence. Consulter des spécialistes avant de mettre en oeuvre cette mesure.

7.3.6 Systèmes à induction

Figure 7.7



Ces systèmes sont dits à induction en raison de l'effet produit par l'air primaire, qui induit la ventilation dans le local où il est introduit. Le mélange d'air primaire et d'air induit est ensuite conditionné par les serpentins de chauffage et de refroidissement situés dans un compartiment spécialement prévu à cette fin dans le local. Un thermostat placé dans ce dernier permet la régulation séquentielle des serpentins de refroidissement et de chauffage.

Les six mesures de gestion énergétique qui s'appliqent aux systèmes de ce type sont décrites ci-après.

1. **Besoins en air neuf**

Régler la teneur en air neuf de l'air primaire en fonction du nombre d'occupants du bâtiment. L'air neuf fourni à chaque unité d'induction doit correspondre aux besoins de chaque zone (selon le nombre d'occupants). Consulter des spécialistes avant de mettre en oeuvre cette mesure.

2. **Réglage des thermostats**

Vérifier les thermostats pour s'assurer que les points de consigne du chauffage et du refroidissement sont fixés respectivement à 20°C et 26°C et séparés par une zone morte.

3. **Minimalisation du conditionnement de l'air primaire**

Pour réduire au minimum la nécessité de chauffer l'air primaire en hiver, fournir aux unités d'induction de l'air à 10-12°C.

En été, refroidir le moins possible l'air primaire. Cependant, si les unités d'induction employées dans le système ne sont pas purgées, on doit refroidir (déshumidifier) l'air primaire pour y éviter la condensation.

4. **Réglage des températures des serpentins**

Régler mensuellement la température de l'eau entrant dans les serpentins de chauffage/refroidissement de façon à réduire la différence entre la température de l'eau et celle des locaux.

5. **Chauffage par convection**

Exploiter la convection durant les périodes de chauffage à température réduite. Les serpentins de chauffage joueront le rôle de radiateurs quand les ventilateurs d'air primaire sont arrêtés. La température de l'eau chaude doit être réglée en fonction de la demande de chauffage durant les périodes d'inoccupation.

Note : Cette mesure est inapplicable dans le cas des radiateurs électriques où il y a risque de surchauffe.

6. **Ventilateurs à deux vitesses**

Employer des moteurs à deux vitesses pour entraîner les ventilateurs d'alimentation et de recyclage des unités d'induction ou bien équiper d'inverseurs de fréquence les moteurs existants. Les unités d'induction tournent en général à basse vitesse pendant 80% de leur durée totale de marche. Consulter des spécialistes avant de mettre en oeuvre cette mesure.

7.4 Systèmes à évacuation

Ces systèmes sont destinés à chasser l'air contaminé. Voici quelques-uns des contaminants fréquemment évacués avec cet air:

- gaz odorants (toilettes et locaux d'entreposage);
- fumée (salle de réunion, atelier de soudage);
- odeurs de cuisine;
- oxyde de carbone (garage);
- gaz carbonique (bureau où l'air en contient plus de 1500 ppm);
- solvants (cabines de ventilation des ateliers de peinture);
- zones très humides (piscines);
- locaux où règne une température élevée (chaufferie, salle de l'équipement électrique).

Les systèmes de ce type se composent des éléments suivants:

ventilateur d'évacuation, gaines, bouches d'évacuation et hottes de captation de l'air contaminé aussi près de la source que possible. La plupart des systèmes sont en outre équipés de dispositifs de régulation et de commande du ventilateur et de ses accessoires, tel un registre commandé par moteur.

Les mesures à appliquer aux systèmes de ce type dépendent en partie de la zone dont ils évacuent l'air. La première partie de la présente section décrit les mesures d'ordre général qui s'appliquent à l'ensemble des systèmes à évacuation, tandis que le reste de la section traite de certaines utilisations de ces systèmes et décrit les mesures qui s'appliquent à chaque cas.

7.4.1 Mesures d'ordre général

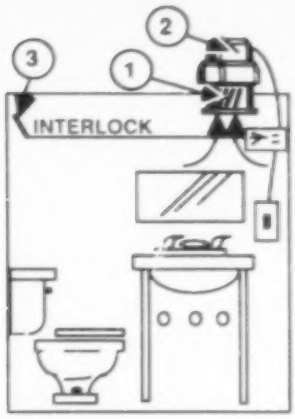
Les mesures spécifiques sont décrites ci-dessous. Il est en outre souvent utile d'envisager de récupérer les calories lorsque le débit de l'air évacué est considérable.

1. **Empêcher l'exfiltration par gravité**

La plupart des ventilateurs d'évacuation sont situés au niveau du toit, et les gaines verticales créent un effet de cheminée provoquant l'exfiltration par gravité quand on arrête les appareils. L'installation d'un registre de refoulement à commande par moteur à la sortie permet de réduire considérablement cette perte. Veiller à installer le registre le plus près possible de la paroi du bâtiment pour éviter aussi les pertes par transmission.

2. **Régler les débits d'air en fonction de l'occupation**

S'il y a eu d'importants changements du nombre d'occupants ou des charges de travail, demander à quelqu'un de compétent de recalculer le débit de l'air à évacuer.

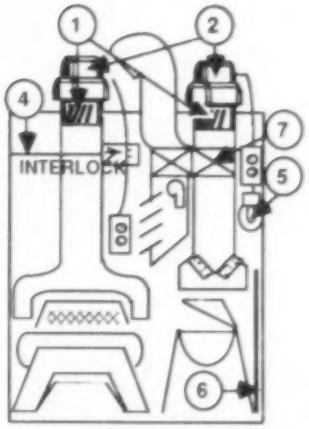


7.4.2 Toilettes

3. Couplage des ventilateurs d'évacuation au système principal

Le fonctionnement des ventilateurs d'évacuation des toilettes doit être subordonné à celui du système principal de traitement de l'air, de sorte qu'ils s'arrêtent automatiquement lorsqu'on arrête ce dernier durant les périodes d'inoccupation des locaux.

Dans la programmation du fonctionnement des ventilateurs, tenir compte de l'équilibre des pressions de l'air dans le bâtiment, car celui-ci sera mis en légère dépression si on laisse tourner les ventilateurs d'évacuation après avoir arrêté les systèmes de ventilation.



7.4.3 Cuisines

4. Couplage du lave-vaisselle

Coupler la commande d'arrêt/marche du lave-vaisselle au surpresseur et au ventilateur d'évacuation pour s'assurer qu'ils démarreront en même temps que le lave-vaisselle.

5. Arrêter le système d'évacuation quand on a fini de cuisiner

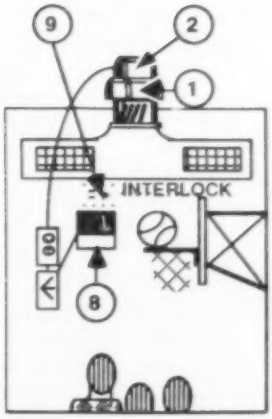
6. Modification des hottes

On peut réduire les débits d'air évacué en installant des panneaux sur les côtés ouverts des hottes. Dans la plupart des applications, la réduction du débit peut atteindre 50%.

Note : Maintenir la vitesse d'écoulement de l'air dans les gaines d'évacuation à un minimum de 7,6 mètres par seconde.

7. Récupération de chaleur

Si les hottes fonctionnent pendant plus de 4000 heures par an, envisager l'installation d'un appareil de récupération de la chaleur de l'air évacué.



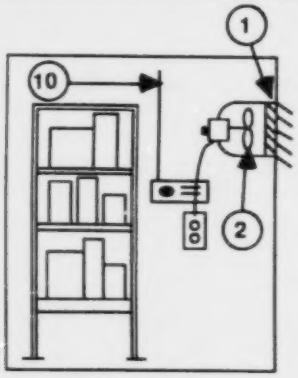
7.4.4. Gymnase

8. Utiliser le système d'évacuation en fonction de l'occupation

Coupler la commande de marche/arrêt du ventilateur d'évacuation à un détecteur d'occupation. De cette façon, le ventilateur ne démarre que lorque le gymnase est occupé.

9. Coupler le ventilateur d'évacuation au système d'aération

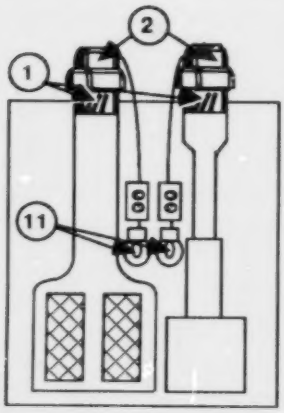
Une autre façon d'empêcher le ventilateur de fonctionner durant les périodes d'inoccupation consiste à en coupler la commande de marche/arrêt à celle du système de ventilation principal.



7.4.5 Zones d'entreposage

10. Réduction de l'évacuation de l'air

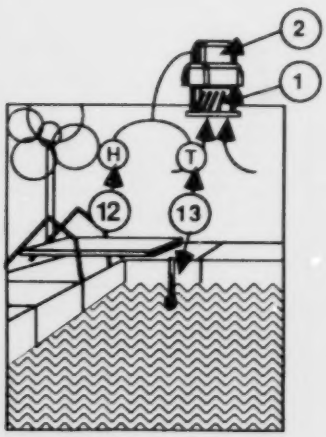
Faire fonctionner le ventilateur d'évacuation par cycles (exemple: une heure de marche, suivie de deux heures d'arrêt). Autre approche: réduire le débit d'air évacué jusqu'au minimum prescrit par la réglementation locale.



7.4.6 Ateliers

11. Réduire la durée de fonctionnement de l'évacuation

Remplacer le bouton de marche/arrêt par un chronorupteur.



7.4.7 Piscines

12. Optimiser le degré d'humidité

Étant donné les températures qui règnent autour de la piscine et la surface considérable de l'eau exposée à l'air, on n'a généralement pas intérêt à déshumidifier la zone de la piscine à moins de 60% d'humidité relative. En effet, au-dessous de ce niveau, la vapeur d'eau éliminée par déshumidication est aussitôt remplacée par celle produite par l'évaporation de l'eau de piscine. C'est pourquoi, il faut que la commande de marche/arrêt du ventilateur d'évacuation soit elle-même commandée par un hygrostat réglé à 60% d'humidité relative. Veiller à vérifier souvent l'hygrostat et à l'étalonner au besoin.

Dans le cas des grandes piscines, envisager d'employer l'équipement de déshumdification pour récupérer la chaleur perdue. Consulter des spécialistes avant de mettre en oeuvre cette mesure.

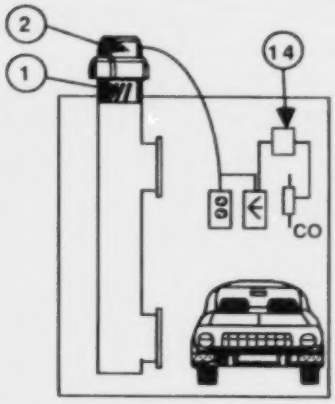
13. Optimiser la température air/eau

Pour réduire au minimum l'évaporation de l'eau de piscine, on doit en maintenir la température au-dessous de celle de l'air.

La température de l'eau ne doit pas dépasser 26°C; celle de l'air doit lui être supérieure d'au moins 10°C.

Couvre-piscines

Durant les périodes d'inoccupation, employer un couvre-piscine pour supprimer l'évaporation de l'eau. Cette mesure permet aussi de réduire la durée de fonctionnement du ventilateur d'évacuation et la quantité d'air d'appoint chaud à fournir pour remplacer l'air évacué. Cette mesure est utile lorsque la piscine est inoccupée plus d'un tiers du temps.

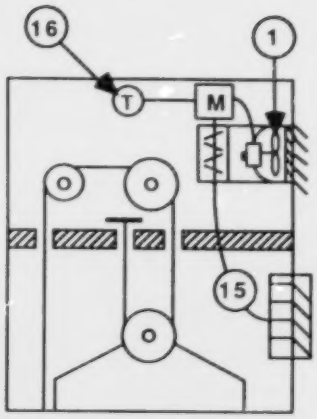


7.4.8 Garages

14. Contrôle au moyen d'un détecteur d'oxyde de carbone

Pour éviter que le système d'évacuation fonctionne inutilement, tout en s'assurant qu'il sauvegarde les conditions de sécurité, remplacer la commande manuelle de marche/arrêt par un dispositif automatique à régulation par détecteur d'oxyde de carbone.

Installer un ou plusieurs détecteurs dans les zones centrales.



7.4.9 Ascenseurs

15. Supprimer les fuites d'air

Pour éviter les fuites d'air dues à l'effet de cheminée de la cage d'ascenseur, rendre étanches toutes les ouvertures situées au sommet de la cage et dans la cabine du toit.

Note: Dans certains cas, le degré d'étanchéité à réaliser est défini par la réglementation locale.

16. Régulation de la température

Commander le fonctionnement du ventilateur d'évacuation de la salle des machines à partir d'un thermostat réglé à la température maximale admissible. La température de consigne du thermostat doit être supérieure à celle que maintient normalement le chauffage dans les locaux du bâtiment, car si elle lui est inférieure, le ventilateur d'évacuation fonctionnera sans arrêt.

7.5 Appareils de récupération de chaleur

Les systèmes de traitement de l'air offrent presque tous des possibilités de récupération thermique. Encore faut-il qu'elle soit rentable. On doit donc chercher en priorité à recycler les calories récupérées vers les systèmes dont elles sont issues, ce qui exige moins de contrôle et peut être réalisé avec des installations moins coûteuses.

Quel que soit l'appareil de récupération utilisé, ce qui importe avant tout c'est de maintenir l'efficacité des surfaces de transfert thermique par un bon programme d'entretien du matériel, faute de quoi la rentabilité de l'investissement initial risque d'être sérieusement compromise par la baisse de rendement due à l'encrassement des surfaces de transfert et par l'augmentation considérable des coûts de l'entretien du matériel.

Les appareils de récupération du type échangeur air-air sont utilisables dans une large gamme de températures et appartiennent à l'une ou l'autre des catégories suivantes:

- échangeur à plaque;
- roue thermique (figure 7.8);
- boucle de récupération (figure 7.8);
- caloduc (figure 7.9);
- récupérateur.

La boucle de récupération présente beaucoup d'avantages quand la chaleur récupérée doit être employée hors du système ou bien lorsque celui-ci comporte plusieurs points d'évacuation et d'utilisation. Bien que le rendement de la récupération soit en général assez faible, ce type d'installation est avantageux parce qu'il élimine la nécessité d'envoyer deux flux d'air dans un même appareil.

Les échangeurs à plaques ont un rendement relativement élevé et présentent peu de risques d'intercontamination. Les roues thermiques offrent plusieurs avantages: rendement élevé, contrôle simple et récupération de l'humidité; mais elles donnent lieu à une certaine intercontamination. Les caloducs ont un rendement élevé, ne provoquent pas d'intercontamination et ne comportent pas d'organes mobiles. Ils sont par contre coûteux, et leur rendement faiblit quand leur extrémité réceptrice s'encrasse.

Un récupérateur est un échangeur air-air qui sert à transférer à l'air de combustion d'une chaudière les calories contenues dans les gaz de combustion. Les récupérateurs ont habituellement un rendement quelque peu inférieur à celui des autres types d'appareil, mais sont construits de façon à résister aux températures élevées des gaz de combustion. Quand on emploie un récupérateur, il importe de tenir compte du système de régulation du rapport combustible/air, car le réchauffage préalable de l'air de combustion en modifie sensiblement la masse volumique. Il faut donc que le réglage du débit de l'air se fasse en amont du récupérateur ou bien qu'il prenne en compte les variations de masse volumique. Il va de soi qu'une élévation importante de la température de l'air de combustion exige l'emploi de brûleurs spécialement conçus.

Figure 7.8

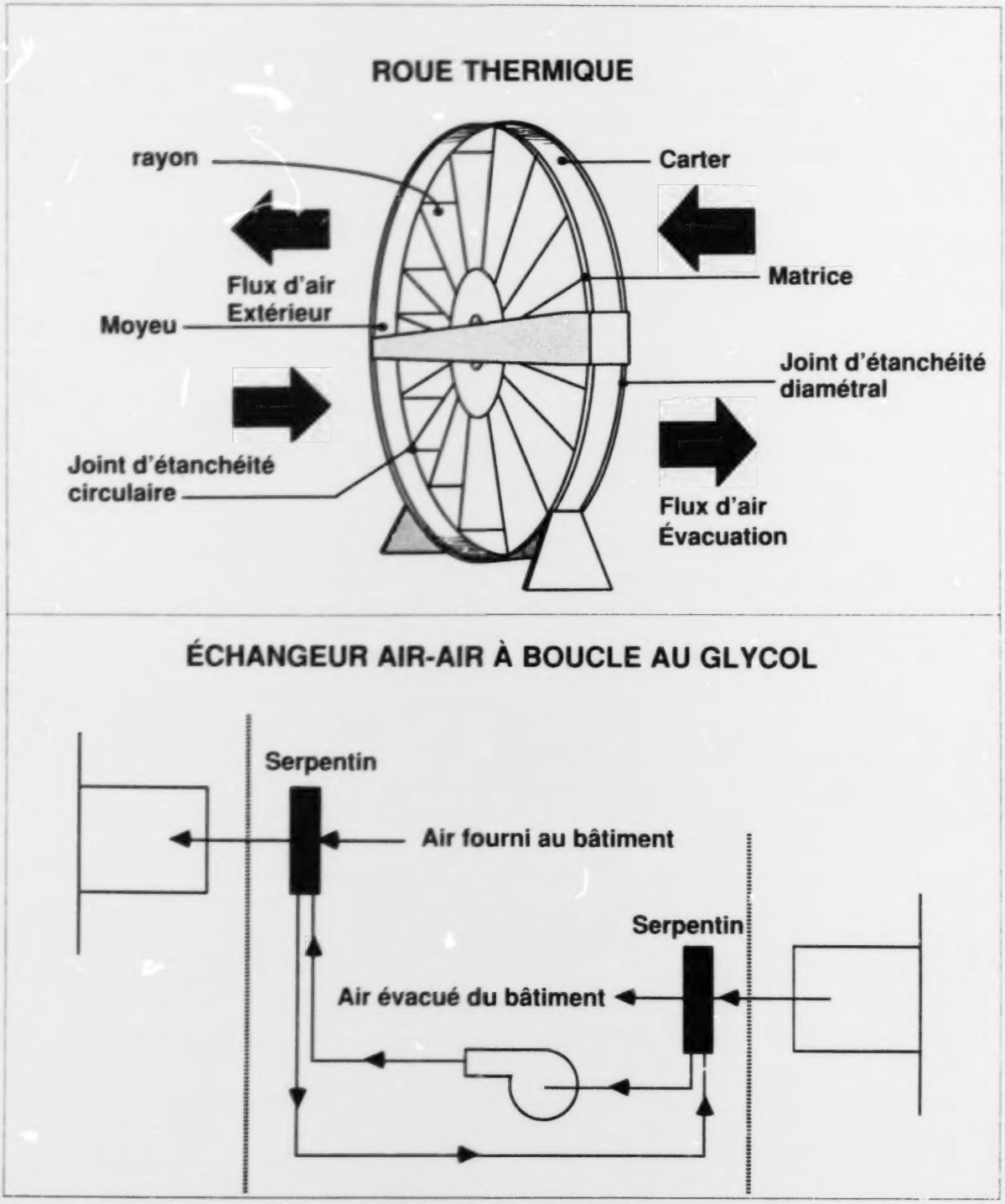
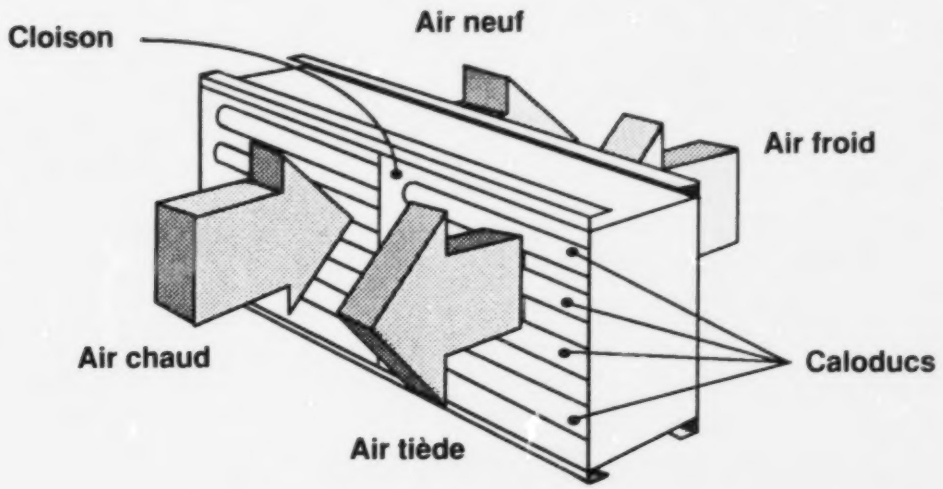
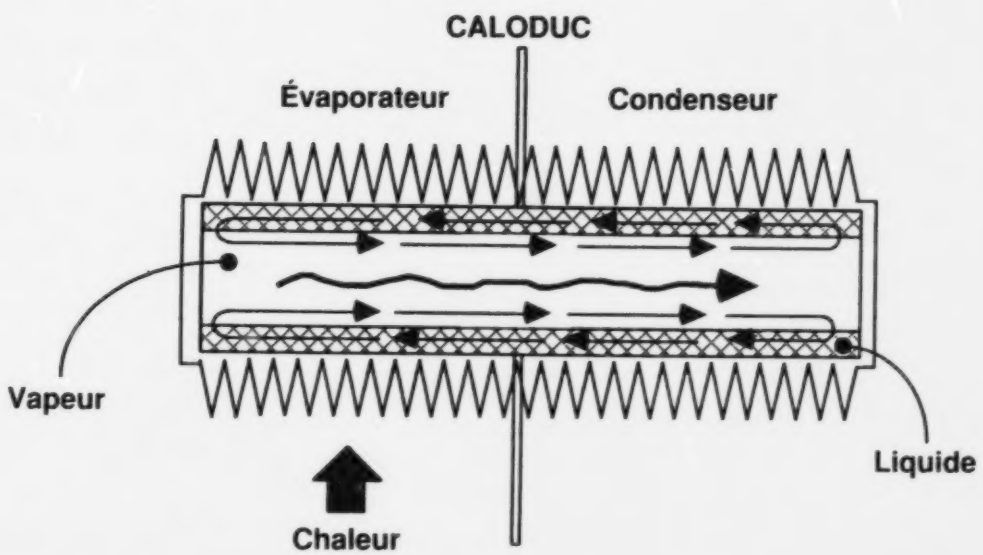

ROUE THERMIQUE
rayon
Carter
Flux d'air
Extérieur
Matrice
Moyeu
Joint d'étanchéité
diamétral
Joint d'étanchéité
circulaire
Flux d'air
Évacuation
ÉCHANGEUR AIR-AIR À BOUCLE AU GLYCOL
Serpentin
Air fourni au bâtiment
Serpentin
Air évacué du bâtiment

Figure 7.9

ÉCHANGEUR THERMIQUE À CALODUCS





8.0
Qualité de l'air

8.0 QUALITÉ DE L'AIR

8.1 Introduction

La qualité de l'air dans les bâtiments modernes est devenue un sujet de préoccupation considérable pour leurs gestionnaires et leurs exploitants. Le public est aujourd'hui plus conscient de l'importance des questions qui influent sur sa santé et il en est mieux informé par les résultats de nombreux travaux de recherche.

D'autre part, l'emploi d'un excès d'air neuf dans les systèmes de chauffage et de climatisation a pour effet d'augmenter leur consommation d'énergie. Qui plus est, il n'existe pas de méthode universelle pour mesurer avec exactitude la qualité de l'air. Et la solution des problèmes que pose cette dernière dépend en définitive de chaque cas. En d'autres termes, elle dépend de chaque bâtiment et de son site.

Les gestionnaires de bâtiments sont donc confrontés au problème de la détermination des proportions optimales d'air neuf à employer pour maintenir les conditions de confort voulues. **Cependant, il faut qu'il y ait un rapport de complémentarité entre la qualité de l'air et les économies d'énergie.** Celles-ci ne doivent être faites aux dépens de celle-là.

Le présent chapitre donne un aperçu des facteurs qui influent sur la qualité de l'air, traite des directives actuellement en vigueur dans ce domaine et décrit brièvement les méthodes de diagnostic des problèmes qui se posent, ainsi que les mesures à mettre en oeuvre pour contrôler la qualité de l'air.

8.2 La question de la qualité de l'air

C'est une question complexe, qui a des répercussions sur:

- le confort, la santé et la productivité des occupants;
- l'acceptation des mesures destinées à économiser l'énergie.

Confort, santé et productivité

La mauvaise qualité de l'air est couramment responsable des symptômes suivants: fatigue, vertige, nausée, mal de tête, manque de concentration, irritation des yeux, du nez, de la gorge ou des voies respiratoires, irritation de la peau et léthargie, faiblesse et irritabilité. Il faut cependant éviter d'attribuer automatiquement ces symptômes à la mauvaise qualité de l'air, car ils peuvent parfois être provoqués par le stress sous toutes ses formes.

La qualité de l'air implique des questions touchant la santé aussi bien que le confort. Il est d'ailleurs souvent difficile d'établir une distinction nette entre les deux. La présence de certains contaminants peut au départ provoquer des symptômes relativement légers, qui seront au début perçus comme un problème lié au confort, mais risquent à long terme d'être nuisibles pour la santé, entraînant alors absentéisme et baisse de productivité.

Économies d'énergie

La question de la qualité de l'air peut en même temps influer sur l'acceptation des mesures (existantes ou prévues) destinées à économiser l'énergie si celles-ci sont perçues comme étant la cause du problème. Cependant, lorsqu'on examine les facteurs qui influent sur la qualité de l'air dans les bâtiments, on se rend compte que le problème a des causes bien plus complexes.

8.2.1 Facteurs influant sur la qualité de l'air

Les techniques de construction, la bureautique, les méthodes de chauffage et d'entretien des bâtiments ont radicalement changé au cours des trente dernières années. Et la qualité de l'air qui y circule subit les effets d'un certain nombre de facteurs, dont les principaux sont:

- Évolution des techniques de conception et de construction;
- Réduction des taux de ventilation;
- Baisse de la qualité de l'air extérieur;
- Allongement du temps passé à l'intérieur des bâtiments;
- Progrès de la recherche.

Chacun de ces facteurs est étudié en détail ci-dessous.

Évolution des techniques de conception et de construction

Les nouveaux matériaux de construction contiennent nombre de produits chimiques susceptibles de dégager des gaz ou vapeurs comme le formaldéhyde ou le radon par exemple. D'autres produits chimiques, organiques ou minéraux, sont introduits dans les bâtiments par les peintures, les solvants et les photocopieurs. Et les particules et poussières que charrie l'air sont également des allergènes présents dans l'environnement des bâtiments.

L'introduction de la climatisation à longueur d'année a conduit à l'emploi de fenêtres non ouvrantes pour éviter les déséquilibres que l'ouverture des fenêtres normales provoque dans les systèmes de traitement de l'air. En outre, les bâtiments construits de nos jours ont une enveloppe plus étanche, qui réduit la consommation d'énergie. Malheureusement, l'emploi de fenêtres non ouvrantes empêche la ventilation naturelle, autrefois possible par simple ouverture d'une fenêtre normale, et la plus grande étanchéité des enveloppes actuelles réduit considérablement l'infiltration d'air extérieur.

Réduction des taux de ventilation

Les concepteurs des systèmes de chauffage, ventilation et traitement de l'air, ainsi que les gestionnaires de bâtiments, ont réduit les taux de ventilation pour se conformer aux mesures destinées aux économies d'énergie.

Les systèmes à volume d'air variable utilisés dans beaucoup de bâtiments ont souvent des taux de ventilation inférieurs à ceux des systèmes conventionnels à volume constant. Les taux de ventilation influent sur l'évacuation des contaminants locaux comme la fumée des cigarettes.

Les systèmes de chauffage, ventilation et traitement de l'air des anciens bâtiments sont transformés en vue de la réduction de leurs coûts énergétiques. Et leurs ventilateurs, modifiés, fonctionnent aujourd'hui moins longtemps durant les jours ouvrables. Les nouvelles mesures de lutte contre le gaspillage de l'énergie préconisent le remplacement des systèmes à 100% d'air extérieur par des systèmes à recyclage utilisant moins d'air neuf. Enfin, la mise en place de nouveaux matériaux d'étanchéité a amené une réduction de la quantité d'air neuf introduit par infiltration.

Baisse de la qualité de l'air extérieur

La qualité de l'air extérieur s'est généralement dégradée dans nos grandes villes, notamment à cause de la pollution due aux usines, aux automobiles et aux gaz de combustion produits par divers procédés de fabrication et de transformation.

Allongement du temps passé à l'intérieur des bâtiments

Une plus forte proportion de la population active passe de nos jours la totalité de la journée de travail dans un bâtiment. Il arrive même à certains travailleurs d'y passer plusieurs jours ou même des semaines entières.

Progrès de la recherche

En l'absence d'un étalon unique permettant de mesurer globalement la qualité de l'air, on cherche à mettre au point des méthodes destinées à mesurer chacun des contaminants susceptibles d'y être présents et à en déterminer la toxicité et les effets sur les êtres humains qui s'y exposent.

8.3 Critères et normes

Il n'existe pas de méthode permettant de mesurer la qualité de l'air avec une justesse suffisante. Bien qu'il soit bien connu, depuis très longtenps, que l'air pur est nécessaire à la santé des êtres humains, le degré de pureté de cet air et la quantité qu'il nous en faut respirer continuent de faire l'objet de beaucoup d'études et d'alimenter de nombreux débats.

Tout cela a conduit à l'élaboration de deux «outils de travail» ou indicateurs de la qualité de l'air. Le taux de ventilation, exprimé en litres par seconde, est une mesure du débit d'air neuf introduit dans un local. La mesure des teneurs en gaz carbonique (CO_2) du local sert d'indicateur du taux de ventilation effectif. Ces deux indicateurs ont servi à l'élaboration des normes et critères d'acceptabilité de la qualité de l'air.

L'inexistence d'un étalon unique permettant de mesurer la qualité de l'air en fait une notion toujours très subjective. En d'autres mots, on n'a pas encore réussi à quantifier ce qu'on entend par «qualité acceptable de l'air». Cette notion est fortement liée au degré de confort éprouvé par l'individu, et ce confort dépend de facteurs qu'il importe de prendre en compte dans l'élaboration des critères d'acceptabilité de la qualité de l'air.

8.3.1 Indicateurs de la qualité de l'air

Taux de ventilation

On sait que le renouvellement de l'air par voie naturelle est dû à l'infiltration et à l'exfiltration. Dans nombre de bâtiments, c'est la seule forme de ventilation; dans d'autres, on a recours à la ventilation mécanique pour mélanger 10-15% d'air neuf à d'importantes quantités d'air recyclé.

Les taux d'infiltration et de ventilation s'expriment sous forme du nombre de renouvellements de l'air par heure, c'est-à-dire de la fréquence horaire des apports d'air neuf ayant un volume équivalent à celui du local. Les taux de ventilation et d'infiltration sont des paramètres importants qui influent sur la concentration et le transport des contaminants présents dans l'air.

Le gaz carbonique (CO_2) en tant que mesure de la ventilation

La concentration normale de gaz carbonique dans l'air extérieur est de 300-400 ppm. Le CO_2 est un gaz inerte que l'on ne peut éliminer des bâtiments que par ventilation. C'est pourquoi les niveaux de CO_2 peuvent servir d'indicateurs des taux de ventilation. Une baisse du niveau de CO_2 est ainsi notée lorsque la ventilation se fait avec 100% d'air extérieur, au lieu de se faire par recyclage d'une partie de l'air.

Ne pas oublier que le CO_2 n'est qu'un indicateur du taux de ventilation et qu'il ne faut pas l'employer comme indice global de la qualité de l'air dans le bâtiment.

Même si les teneurs en CO_2 sont acceptables, il se peut que certains problèmes n'en continuent pas moins d'être provoqués par la présence d'autres contaminants dans l'air, par sa **mauvaise circulation** ou sa **médiocre distribution.**

8.3.2 Normes et recommandations

La question de la qualité de l'air est en constante évolution, et les normes et recommandations qui s'y rapportent s'élaborent à mesure qu'évoluent nos connaissances sur les besoins en air pur du corps humain, sur les principaux contaminants de l'air et leurs effets sur la santé.

Ainsi, en Amérique du Nord, les normes relatives au niveau de ventilation à maintenir ont évolué au cours du XIXe siècle, le débit minimal d'air à fournir passant de 2,5 à 15 litres par seconde. Cette évolution s'est faite grâce aux connaissances acquises sur certaines maladies propagées par l'air, comme la tuberculose par exemple. Mais les progrès de l'hygiène au XXe siècle ayant considérablement réduit la fréquence de ces maladies, la norme est tombée de 15 litres par seconde en 1905 à 2,5 litres par seconde en 1973.

L'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) a été l'une des premières organisations à formuler des recommandations concernant la qualité de l'air. Les travaux de recherche de l'ASHRAE ont conduit à la publication des taux minimaux de ventilation à maintenir à l'intérieur des locaux. Ces données sont reproduites dans la figure 8.1.

Taux de ventilation recommandés (locaux à usage commercial)

Local ou zone	Nombre de personnes par 1000 pieds carrés de superficie de plancher	ASHRAE 62-1973 Débit d'air neuf à fournir par occupant				ASHRAE 62-1981	
		Minimum		Recommandé		Zone fumeurs	Zone non-fumeurs
		cfm	L/s	cfm	L/s	cfm	cfm
Garages, ateliers de réparation automobile, stations-service							
Garages, stationnements intérieurs	—	1.5	7.5	2-3	10-15	1.5	1.5
Ateliers de réparation automobile	—	1.5	7.5	2-3	10-15	1.5	1.5
Salles de spectacles							
Salles avec interdiction de fumer	150	5	2.5	5-10	2.5-5	35	7
Salles avec permission de fumer	150	10	5	10-20	5-10	35	7
Salles de danse	100	15	7.5	20-25	10-12.5	35	7
Gymnases et arenas							
Pistes de jeu	70	20	10	25-30	12.5-15	—	20
Vestiaires	20	30	15	40-50	20-25	35	15
Gradins et zones spectateurs	150	20	10	25-30	12.5-15	35	7
Piscines	25	15	7.5	20-25	10-12.5	—	0.5
Patinoires, Curling, Pistes de patinage à roulettes	70	10	5	15-20	7.5-10	—	20
Transports							
Salles d'attente	50	15	7.5	20-25	10-12.5	35	7
Billetterie et zones bagages, Couloirs et portillons	50	15	7.5	20-25	10-12.5	35	7
Halls (gares)	150	10	5	15-20	7.5-10	35	7
Bureaux							
Zone des bureaux proprement dits	10	15	7.5	15-25	7.5-12.5	20	5
Salles de réunion	60	25	12.5	30-40	15-20	35	7
Cabinet de médecin	—	10	5	10-15	7.5-10	35	7
Salles d'attente	30	10	5	15-20	7.5-10	35	7
Établissements d'enseignement							
Classes	—	—	—	—	—	25	5
Laboratoires	—	—	—	—	—	—	10
Bibliothèques	—	—	—	—	—	—	5

(Source: B. Meyer, Indoor Air Quality)

Figure 8.1

La qualité de l'air dans les locaux à usage commercial ne fait l'objet d'aucune réglementation gouvernementale en Ontario.

Des tests récemment effectués par le ministère du Travail de cette province ont cependant conduit à l'élaboration d'un ensemble de recommandations en ce qui concerne les teneurs en CO_2 de l'air circulant dans les bureaux (cf. figure 8.2).

Recommandations du gouvernement Ontarien (niveaux de CO2)

moins de 600 ppm	Pas de problème
entre 600 et 800 ppm	Quelques problèmes, surtout aux températures élevées
entre 800 et 1000 ppm	S'attendre à quelques plaintes
au-dessus de 1000 ppm	S'attendre à des plaintes répétées Prendre des mesures pour ramener le niveau au-dessous de 1000 ppm

Figure 8.2

En ce qui concerne les bâtiments à usage d'habitation, les récentes modifications apportées au Code national du bâtiment du Canada stipulent que les maisons doivent être équipées d'un système de ventilation pouvant complètement renouveler l'air à la fréquence d'une fois toutes les deux heures.

8.3.3 Critères

Bien qu'il soit impossible de mesurer la qualité de l'air au moyen d'un étalon unique, on a réussi à élaborer des critères touchant à tous les aspects de cette question, d'un point de vue qualitatif, fondé sur le confort des occupants.

En règle générale, on éprouve cette sorte de bien-être qu'on appelle confort lorsque les stress d'ordre physique, chimique et biologique sont minimaux. La qualité de l'air proprement dite peut être très différente de la perception qu'on peut en avoir.

Mais ce sont les mêmes facteurs qui les influencent, à savoir:

- Les facteurs physiques: contaminants physiques de l'air;
- Les facteurs chimiques: contaminants chimiques de l'air;
- Les facteurs biologiques: contaminants biologiques de l'air;
- Les caractéristiques thermodynamiques de l'air: température, humidité relative et vitesse.

Chacun de ces facteurs est étudié en détail dans la section 8.4.

En règle générale, la qualité de l'air est dite acceptable quand les conditions ci-dessous sont réunies:

1. La température de l'air est jugée acceptable par les occupants (ASHRAE S&D55-1981).
2. Les teneurs en oxygène et en gaz carbonique permettent le fonctionnement normal de l'appareil respiratoire des individus normalement constitués.
3. Les concentrations de contaminants sont inférieures aux valeurs à partir desquelles ils sont susceptibles d'être nuisibles ou d'amener les occupants à se plaindre.

8.4 Les composants de la qualité de l'air

Comme on l'a vu plus haut, les contaminants physiques, chimiques et biologiques de l'air, ainsi que ses caractéristiques thermiques, sont susceptibles d'en altérer la qualité.

8.4.1 Facteurs d'ordre thermique

Ces facteurs influencent de deux façons la qualité de l'air.

En premier lieu, notre perception de la qualité de l'air est liée à des facteurs de température et de composition. Si sa température est trop élevée ou s'il est immobile, nous éprouvons une sensation de «manque d'air». En second lieu, les caractéristiques thermiques de l'air influencent l'action exercée par les contaminants dans l'environnement. Une humidité excessive aura par exemple pour effet de favoriser la croissance des micro-organismes.

Un environnement aux caractéristiques thermiques acceptables réduit au minimum le stress physique, et l'on peut dire que le confort thermique dépend des facteurs suivants:

- Température de l'air: elle peut varier considérablement en raison de la stratification thermique, et ces variations peuvent avoir des répercussions sur le confort des occupants.
- Vitesse de l'air: les systèmes de distribution de l'air peuvent créer chez les occupants la sensation d'un «manque d'air» ou au contraire de courants d'air.
- Humidité relative: elle s'exprime sous forme d'un pourcentage, qui se situe entre 20 et 80% dans la plupart des bâtiments. Au-dessous de 20%, elle est cause d'inconfort pour certains.
- Électricité statique: une faible humidité relative provoque l'accumulation de charges électrostatiques à la surface des objets. Des tests ont montré que la plupart des gens voient un lien entre la sécheresse et la température de l'air.

Pour maintenir un degré de confort acceptable, il faut que les caractéristiques thermiques du bâtiment se situent dans les intervalles recommandés ci-dessous.

Caractéristiques	Saison froide	Saison chaude
• Température	20-23°C	• 20-26°C
• Humidité relative	30-60%	• 40%
• Vitesse de l'air	0,15-0,25 m/s	• 0,25 m/s (on peut accepter une température de 28°C si la vitesse de l'air = 0,8 m/s)

Pour une personne assise, la différence de température entre le niveau des chevilles et celui de la tête doit être inférieure à 5°C. Des températures supérieures à 25°C peuvent amener les occupants à se plaindre du «manque d'air ou d'oxygène» ou bien d'une «odeur de renfermé». La réduction de la température de l'air règle en général ce genre de problème et fait cesser les plaintes.

8.4.2 Contaminants physiques

La liste ci-dessous donne quelques-uns des principaux contamiants physiques de l'air.

Contaminant	Source
• Poussières	Air extérieur
• Fumée de cigarettes (vapeur Cigarettes et particules)	Cigarettes
• Fibres d'amiante	Matériaux de construction à base d'amiante
• Poussières métalliques	Matériaux de construction
• Particules de bois	Matériaux de construction

Les particules de fumée, poussière, pollen, etc. pénètrent dans le bâtiment soit par infiltration soit sous l'effet des activités et procédés qui s'y déroulent. La quantité de matière qui pénètre ainsi dans le bâtiment dépend de la vitesse du vent et de l'importance de l'infiltration, laquelle diminue à mesure qu'augmente l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment. Les particules peuvent être engendrées dans ce dernier par les fumeurs, les procédés de combustion et les matériaux de construction existants.

Les matières particulaires ont une large gamme de tailles et de formes, et leur vitesse de sédimentation augmente avec leur masse. Elles peuvent être remises en suspension dans l'air sous l'effet de la turbulence locale ou bien lorsque quelqu'un traverse la zone où s'est déposée la poussière.

Les particules de diamètre inférieur à 1,5 mm peuvent atteindre les poumons, mais les autres se déposent très vite et n'ont donc pas le temps d'atteindre le nez ou la bouche. La figure 8.3 donne le diamètre des particules de diverses substances.

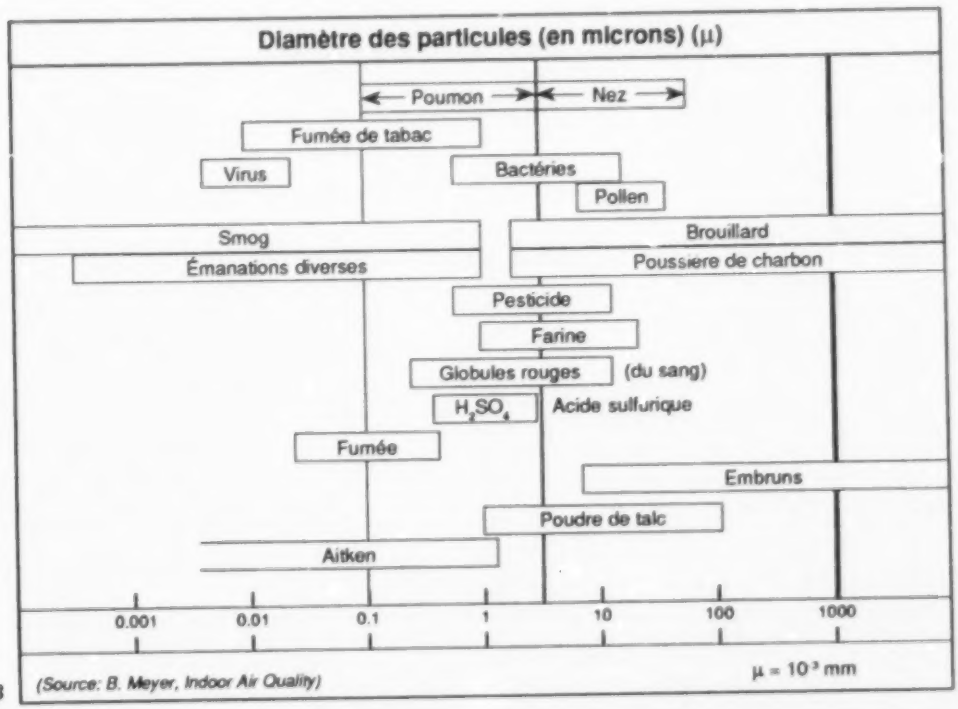


Figure 8.3

8.4.3 Contaminants chimiques

La liste ci-dessous donne quelques-uns des principaux types de contaminants chimiques susceptibles de se trouver dans un bâtiment à usage non industriel.

Contaminant	Source
• Formaldéhyde et aldéhydes divers composés organiques volatils (solvants à base d'hydrocarbures)	Peintures, photocopieurs Aérosols
• Ozone	Photocopieurs, aérosols
• Radon (et descendants radioactifs)	Sources géologiques, sol, produits céramiques
• Produits de la combustion,	Combustion incomplète, combustion industrielle, métabolisme humain

Certains contaminants chimiques peuvent être trouvés dans la majorité des immeubles à bureaux et à usage institutionnel. Ce sont les produits de la combustion, c'est-à-dire l'oxyde de carbone (CO), le gaz carbonique (CO_2), les oxydes d'azote (NOx) et l'anhydride sulfureux (SO_2). On trouve certaines concentrations de ces produits dans tout bâtiment contenant une source de combustion.

Les photocopieurs et les bombes à aérosol ont pour effet d'augmenter les concentrations d'ozone, et les agents de nettoyage sont susceptibles de dégager des gaz et vapeurs toxiques. Les matériaux de construction (peintures, panneaux de particules, etc.) peuvent accroître les concentrations de formaldéhyde et de divers hydrocarbures.

Même l'air que nous exhalons est source de nombreux contaminants, entre autres ceux qui figurent dans la liste ci-dessous.

* Composés volatils de l'air que nous exhalons:

Gaz carbonique, ammoniac, oxyde de carbone, acétaldéhyde, acétone, acide acétique, acétonitrile, acétylcholine, alanine, butyraldéhyde, créatinine, diéthylcétone, sulfure de diméthyle, éthane, éthylamine, chlorure d'éthyle, éthyléther, formamide, hydrogène, acide chlohydrique, isoprène, isopropanol, lysine, méthane, méthylamine, méthyléther, méthyléthylcétone, thiocyanate de méthyle, méthylurée, monoxyde d'azote, dioxyde d'azote, oxychlorure d'azote, propionaldéhyde, propanol, triméthylamine, urée, acide urique et xylose, pour ne nommer que les plus volatils.

* Source: Meyer B., Indoor Air Quality

Notre tolérance aux divers produits chimiques dépend de leurs effets sur l'organisme. On trouvera dans le tableau ci-dessous (figure 8.4) les concentrations maximales admissibles et les concentrations tolérables (dites «de confort») de divers contaminants, ainsi que les valeurs correspondantes de

température et d'humidité relative. La concentration maximale admissible est déterminée en fonction d'une population «saine». C'est une valeur théorique. La concentration tolérable (de confort) correspond par contre à celle que l'individu moyen juge acceptable. (L'ASHRAE définit cette concentration en précisant qu'elle satisfait 80% de la population).

Valeurs maximales et valeurs de confort

Contaminant	Valeur maximale	Valeur de confort
Gaz carbonique	5000 ppm	<800-1000 ppm
Oxyde de carbone	35 ppm	<5 ppm
Formaldéhyde	1 ppm	0,1 ppm
Ozone	0,1 ppm	non précisée
Micro-organismes	non précisée	<800 CFU/ft3
Température	Formule complexe donnée en °C thermomètre humide	21-23°C (hiver) 23-26°C (été)
Humidité relative	non précisée	20-30% (hiver) 40-50% (été)

Figure 8.4

Les concentrations de ces produits chimiques peuvent augmenter pour l'une ou l'autre des raisons suivantes:

1. Mauvais emplacement des prises d'air (par exemple, près d'une source de combustion);
2. Mauvaise distribution de l'air (pas de dilution des contaminants);
3. Systèmes d'évacuation incapables de chasser l'air contaminé;
4. Contaminants chimiques engendrés par de nouveaux matériaux de construction, des meubles ou des tissus d'ameublement neufs.

La figure 8.5 illustre le cas d'un système de ventilation susceptible d'être à l'origine de la mauvaise qualité de l'air.

La présence de gaz carbonique dans l'air est nécessaire à l'équilibre écologique. L'accumulation de ce gaz à l'intérieur d'un bâtiment est due à l'air exhalé par les occupants et aux procédés de combustion.

Comme les teneurs en CO sont une indication de la performance des systèmes de ventilation, les tests de qualité de l'air visent surtout à mesurer ces teneurs. Lorsque la concentration de CO dépasse la valeur de confort, on doit la réduire par dilution de l'air intérieur avec de l'air neuf (à condition que ce dernier ait une teneur en CO inférieure à celle de l'air intérieur).

8.4.4 Contaminants biologiques

Types de contaminants biologiques

Voici quelques-uns des contaminants biologiques habituellement présents dans les bâtiments:

Contaminant	Source
Microbes	Humidificateurs
Moisissures	Humidificateurs
Bactéries (pathogènes)	Air extérieur, tours de refroidissement
Allergènes	Air intérieur, pollen, etc.

Les contaminants biologiques sont des micro-organismes susceptibles de se propager dans un bâtiment et d'être inhalés par les occupants. Une eau stagnante maintenue à une température comprise entre 15 et 50°C est un excellent milieu de croissance des micro- organismes. Ces conditions se trouvent réunies dans les humidificateurs et les tours de refroidissement, où règnent une température et une humidité propices à la croissance des bactéries, des algues et des micro-organismes.

La croissance de certaines bactéries dans des humidificateurs mal entretenus peut provoquer des maladies. La littérature traitant de la qualité de l'air donne des exemples de maladies dues aux bactéries qui circulent dans l'air des bâtiments: maladie du légionnaire, fièvre des humidificateurs, pneumopathie par hyper-sensibilité, etc.

Les concentrations bactériennes sont mesurées en unités appelées colony-forming units (CFU) par m3. Des concentrations supérieures à 1000 CFU/m3 peuvent révéler la présence de problèmes dus aux contaminants biologiques.

8.5 Diagnostic et solution des problèmes

La qualité de l'air fourni à un local dépend de certains facteurs: conception et contenu du bâtiment, activités de ses occupants, qualité de l'air extérieur, conception et fonctionnement du système de chauffage, de refroidissement et de ventilation. Toute modification de l'un ou l'autre de ces éléments peut avoir des répercussions sur la quantité de contaminants introduits dans le local ou sur leur élimination par le système de ventilation.

C'est pourquoi la solution des problèmes posés par la qualité de l'air dépend en règle générale de chaque bâtiment et de chaque site, d'où la difficulté de formuler, pour les concepteurs et propriétaires de bâtiments, des recommandations générales ou des méthodes universelles permettant de diagnostiquer et de résoudre ce genre de problèmes.

> Pour diagnostiquer et résoudre les problèmes posés par la qualité de l'air, il importe avant tout d'éviter de conclure sans réflexion. Il ne faut pas que la crainte de voir les occupants se plaindre de la qualité de l'air intérieur empêche les gestionnaires de modifier les systèmes de ventilation en vue d'économiser l'énergie, à condition que les modifications à mettre en oeuvre aient été bien étudiées techniquement. Dans le même ordre d'idées, l'augmentation des taux globaux de ventilation dans les bâtiments où les occupants se plaignent de la qualité de l'air ne représente ni la seule solution possible, ni la plus efficace.

La façon logique d'aborder les problèmes posés par la qualité de l'air consiste à en diagnostiquer la cause, puis à mettre en oeuvre les solutions qui s'imposent.

8.5.1. Facteurs influençant la qualité de l'air

Pour trouver la meilleure solution aux problèmes posés par la qualité de l'air dans un bâtiment donné, il faut bien connaître ce dernier, ainsi que son système mécanique, son environnement et les habitudes de ses occupants.

Le bâtiment

La conception et la construction de l'enveloppe du bâtiment déterminent le taux d'infiltration, c'est-à-dire de la pénétration incontrôlée de l'air. Dans certains bâtiments, on compte sur l'infiltration comme seule et unique source d'air d'appoint, destiné à remplacer l'air extrait par les ventilateurs d'évacuation. Toute modification de l'étanchéité de l'enveloppe influe sur le taux d'infiltration, donc sur la quantité d'air neuf disponible.

Les matériaux utilisés dans la fabrication des enduits intérieurs et des meubles peuvent être la source de contaminants chimiques et particulaires.

Lors de la conception du bâtiment, le système mécanique a été étudié en fonction de l'agencement des locaux. Toute modification ultérieure de cet agencement risque de nuire à l'efficacité du système de ventilation, qui ne pourra sans doute plus distribuer aussi bien l'air neuf, ainsi qu'à celle du système d'évacuation, devenu incapable d'éliminer les contaminants.

L'air extérieur

Les conditions climatiques influent sur l'infiltration, donc sur la quantité d'air neuf qui pénètre dans le bâtiment, ainsi que sur la qualité de l'air extérieur, toutes choses qui ont pour effet de modifier la charge de travail du système de ventilation.

De plus, l'environnement extérieur du bâtiment peut se modifier au fil des ans, ce qui risque d'avoir des conséquences sur la qualité de l'air extérieur dans le voisinage immédiat. Ainsi, l'augmentation de la circulation automobile dans une rue des environs ou bien la présence d'une bouche d'évacuation d'un bâtiment voisin risquent de compromettre la qualité de l'air d'alimentation.

Les occupants

Le système de ventilation est au départ conçu pour un usage donné du bâtiment. Lorsque le nombre ou le type des occupants subit une importante modification, dans la totalité du bâtiment ou dans une zone en particulier, il en résulte une surcharge du système de ventilation.

Lorsque l'usage des locaux subit une modification (exemple: addition d'ateliers non prévus au départ, d'équipement de bureau, de meubles ou de procédés), de nouveaux contaminants risquent d'être introduits dans l'air. Les habitudes des occupants, celle de fumer par exemple, ont également des effets très sensibles sur la qualité de l'air. Les méthodes d'entretien et les produits de nettoyage peuvent aussi être à l'origine des problèmes posés par la qualité de l'air.

Le système mécanique

La conception et le fonctionnement du système mécanique sont un facteur clé de la qualité de l'air. Les fonctions chauffage et refroidissement déterminent les caractéristiques thermiques de l'air, lesquelles influent sur le confort des occupants et l'action des contaminants.

L'aération du bâtiment peut se faire par:

- ventilation naturelle, par ouverture des fenêtres;
- ventilation incontrôlée, par infiltration;
- ventilation par air pulsé, au moyen d'un système mécanique.

Un système de ventilation par air pulsé peut avoir les fonctions suivantes:

- évacuation: élimination des contaminants, soit au cours du processus général de ventilation, soit par évacuation à leur source même.
- appoint: dilution des contaminants de l'air intérieur par addition d'air neuf;
- recyclage: filtration de l'air et mélange avec de l'air neuf.

Dans certains bâtiments, le système mécanique ne fournit que la chaleur, et l'aération se fait par ouverture des fenêtres. On utilise souvent des ventilateurs d'évacuation dans certaines locaux, notamment les cuisines, et l'on compte sur l'infiltration pour fournir l'air neuf d'appoint nécessaire. Dans les bâtiments modernes complètement étanches, dont les fenêtres n'ouvrent pas, le système mécanique sert en même temps au chauffage, au refroidissement et à la ventilation.

Le débit d'air extérieur à fournir ne représente qu'un des éléments à prendre en compte. Il y en a d'autres. Les déséquilibres du système, les défaillances du matériel ou le mauvais fonctionnement de l'équipement de distribution sont autant de choses qui risquent de compromettre la qualité de l'air fourni aux occupants. C'est pourquoi il importe que les gestionnaires des bâtiments sachent exactement ce que le système de ventilation peut faire et ce qu'il ne peut pas faire. Ils pourront ainsi mieux l'adapter aux changements qui surviennent dans l'enveloppe des bâtiments ou les caractéristiques de leur occupation.

8.5.2 Mesures et analyse

Le diagnostic des problèmes posés par la qualité de l'air nécessite mesures et investigations. Les mesures portent sur les éléments suivants: température, humidité, circulation de l'air, taux de ventilation et teneurs en CO_2.

L'investigation doit porter sur le système mécanique, le bâtiment et son utilisation par les occupants.

Le système mécanique

- Vérifier les facteurs de conception et d'entretien: dimensionnement des ventilateurs, fonctionnement des registres, déséquilibres du système.
- Déceler les sources de contaminants biologiques dans les systèmes d'humidification.

Le bâtiment et son utilisation par les occupants

- Déceler les sources potentielles de contaminants chimiques: meubles, équipement de bureau, matériaux et procédés nouveaux.

8.6 Stratégies de contrôle

On distingue trois types de stratégies de contrôle de la qualité de l'air: suppression de la source, évacuation à la source et dilution. Le choix de la stratégie à mettre en oeuvre dépend de la nature du contaminant et des possibilités offertes par le système de ventilation.

8.6.1 Suppression de la source

Elle consiste simplement à éliminer la cause du problème, par exemple en modifiant les méthodes d'entretien du bâtiment ou en remplaçant certains de ses matériaux. Cette stratégie est efficace contre les contaminants biologiques et certains contaminants chimiques.

Contaminants biologiques

Pour combattre la prolifération des micro-organismes, il importe d'entretenir convenablement les humidificateurs, de bien choisir l'emplacement des tours de refroidissement et d'éviter la formation de flaques d'eau et de mares.

La vidange des humidificateurs et l'emploi de désinfectants chimiques permettent de stopper la croissance des micro-organismes. Dans certains cas, toutefois, le nettoyage des humidificateurs se révèle très difficile.

L'emploi de filtres efficaces est le meilleur moyen de réduire la multiplication des bactéries dans l'air. L'installation de lampes à ultraviolet dans les gaines de distribution d'air est un autre moyen de combattre la prolifération des micro-organismes, la plupart d'entre eux étant en effet détruits par les rayons émis par ces lampes. Cette méthode présente cependant l'inconvénient de nécessiter beaucoup d'entretien.

Il est recommandé de purifier l'eau des humidificateurs à vapeur avant son introduction dans les appareils. Il importe également de vérifier la qualité de la vapeur produite et d'éviter le passage des produits chimiques dans l'atmosphère des locaux.

Les produits chimiques volatils utilisés dans le traitement de l'eau peuvent aussi être dangereux pour la santé des occupants.

En résumé, les humidificateurs contenant de l'eau à la température ambiante constituent un milieu favorable à la prolifération des micro-organismes. Il est donc préférable d'éviter la propagation de ces organismes par l'emploi de filtres efficaces plutôt que de compter sur l'entretien des humidificateurs, même s'il est bien fait.

Contaminants chimiques

La suppression des sources de contaminants chimiques se fait par:

- modification des méthodes d'entretien du bâtiment, notamment en vue d'éliminer les contaminants des produits de nettoyage;
- modification ou élimination de certains matériaux. Exemple: le remplacement des tapis usés par des revêtements à surface dure.

8.6.2 Évacuation à la source

L'évacuation à la source implique l'élimination de diverses matières de certains locaux: cuisines, ateliers, salles pour fumeurs, locaux de reproduction par photocopie, etc. Cette stratégie est utile pour l'élimination de certains contaminant chimiques et physiques.

Contaminants chimiques

Évacuation directe de l'air des zones à assainir (exemples: locaux destinés aux fumeurs, locaux de reproduction par photocopie, etc.).

8.6.3 Dilution

La dilution consiste à évacuer une partie de l'air du bâtiment et à la remplacer par de l'air neuf extérieur, que l'on mélange à l'air de recyclage. Ce mélange est alors filtré, puis recyclé dans le bâtiment. La dilution est efficace contre certains contaminants chimiques et physiques.

Contaminants physiques

La filtration permet de lutter contre la propagation des particules et des contaminants physiques à l'intérieur du bâtiment. Des filtres bien entretenus présentent les avantages suivants:

- protection contre l'encrassement de l'équipement;
- allongement de la durée de vie utile de l'équipement;
- élimination des contaminants physiques;
- amélioration de la qualité de l'air.

Contaminants chimiques

Les stratégies correctrices consistent:

- à augmenter les débits d'air neuf extérieur durant un certain temps après l'introduction de nouveaux matériaux dans les locaux;
- à régler le diffuseur ou le caisson VAV (volume d'air variable) de façon à améliorer la circulation de l'air;
- à modifier l'équipement de ventilation mal conçu ou mal installé (par exemple, une prise d'air extérieur placée sous le vent par rapport à une bouche d'évacuation).

La qualité de l'air intérieur peut être maintenue par la régulation optimale du système de ventilation, notamment par:

- l'optimisation des débits d'air neuf;
- l'optimisation des débits d'évacuation;
- la bonne régulation du recyclage de l'air.

On trouvera dans la figure 8.1 le résumé des recommandations relatives à la ventilation des locaux.

8.7 Liste de contrôle

Il n'existe pas de méthode universelle pour améliorer la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. C'est pourquoi il convient de se reporter à la liste ci-après chaque fois que l'on a à résoudre des problèmes posés par la qualité de l'air. Les chiffres de la liste renvoient à ceux de la figure 8.5.

Première chose à faire: vérifier la température de l'air et les critères de confort des zones posant des problèmes.

Suppression des sources de contamination

1. S'assurer que l'air évacué ne pénètre pas dans la prise d'air extérieur.
2. S'assurer que les prises d'air extérieur situées au niveau du sol ne se trouvent pas au voisinage de l'échappement des automobiles ou d'autres sources de contamination.
3. S'assurer que l'air évacué des toilettes n'est pas recyclé dans le bâtiment. Éviter d'installer les bouches d'évacuation au voisinage des prises d'air extérieur.
4. Les tours de refroidissement se trouvent-elles à proximité des prises d'air extérieur? Veiller à faire subir à l'eau des tours une épuration biologique, surtout en été.
5. Éviter la formation de flaques d'eau et de mares sur le toit ou à proximité des prises d'air extérieur.
6. S'assurer qu'il n'y a ni contaminants biologiques ni moisissures dans les humidificateurs ou sur les serpentins de refroidissement. Veiller à faire épurer l'eau des systèmes de pulvérisation.
7. S'assurer que l'eau ne stagne pas dans les gouttières des ventilo-convecteurs.
8. S'assurer que les moquettes imbibées d'eau ne contiennent pas de contaminants biologiques. Veiller à remplacer les moquettes contaminées.
9. S'assurer que les locaux où sont installés les ventilateurs ne contiennent ni solvants ni produits chimiques susceptibles de contaminer le bâtiment par propagation par le système de traitement de l'air.
10. Vérifier les produits chimiques utilisés pour le nettoyage des moquettes, ainsi que la concentration des produits servant à nettoyer moquettes et planchers.

Évacuation à la source

11. Vérifier l'air évacué des locaux à forte humidité, des pièces réservées aux fumeurs, des cuisines, des locaux servant à la photocopie, etc.

Dilution

12. Vérifier le débit minimal d'air extérieur et le régler en fonction du taux normal d'occupation du bâtiment.
13. Vérifier les teneurs de l'air ambiant en CO_2 et en contaminants divers.
14. Régler la durée de marche des ventilateurs en fonction du temps d'occupation du bâtiment.
15. Vérifier la distribution de l'air et s'assurer qu'il est convenablement renouvelé dans les locaux occupés. Y a-t-il stratification verticale de la température? Si oui, c'est signe d'une mauvaise distribution de l'air.
16. Régler les positions minimales des boîtes VAV (volume d'air variable) de façon à obtenir une circulation d'air suffisante dans les locaux périphériques.

17. Employer des taux de ventilation supérieurs à la normale durant la première année d'occupation des bâtiments neufs. Cette mesure permet d'éliminer les contaminants chimiques des meubles et moquettes à l'état neuf.
18. Choisir les filtres en fonction des besoins des occupants et de l'équipement.
19. Choisir également les filtres en fonction de la taille, de la concentration et des caractéristiques des contaminants et des particules qui se trouvent dans l'air extérieur et dans l'air recyclé.
20. Vérifier les pertes de charge à travers les filtres et procéder à temps aux remplacements nécessaires. L'encrassement des filtres provoque des problèmes dus à la mauvaise distribution de l'air.

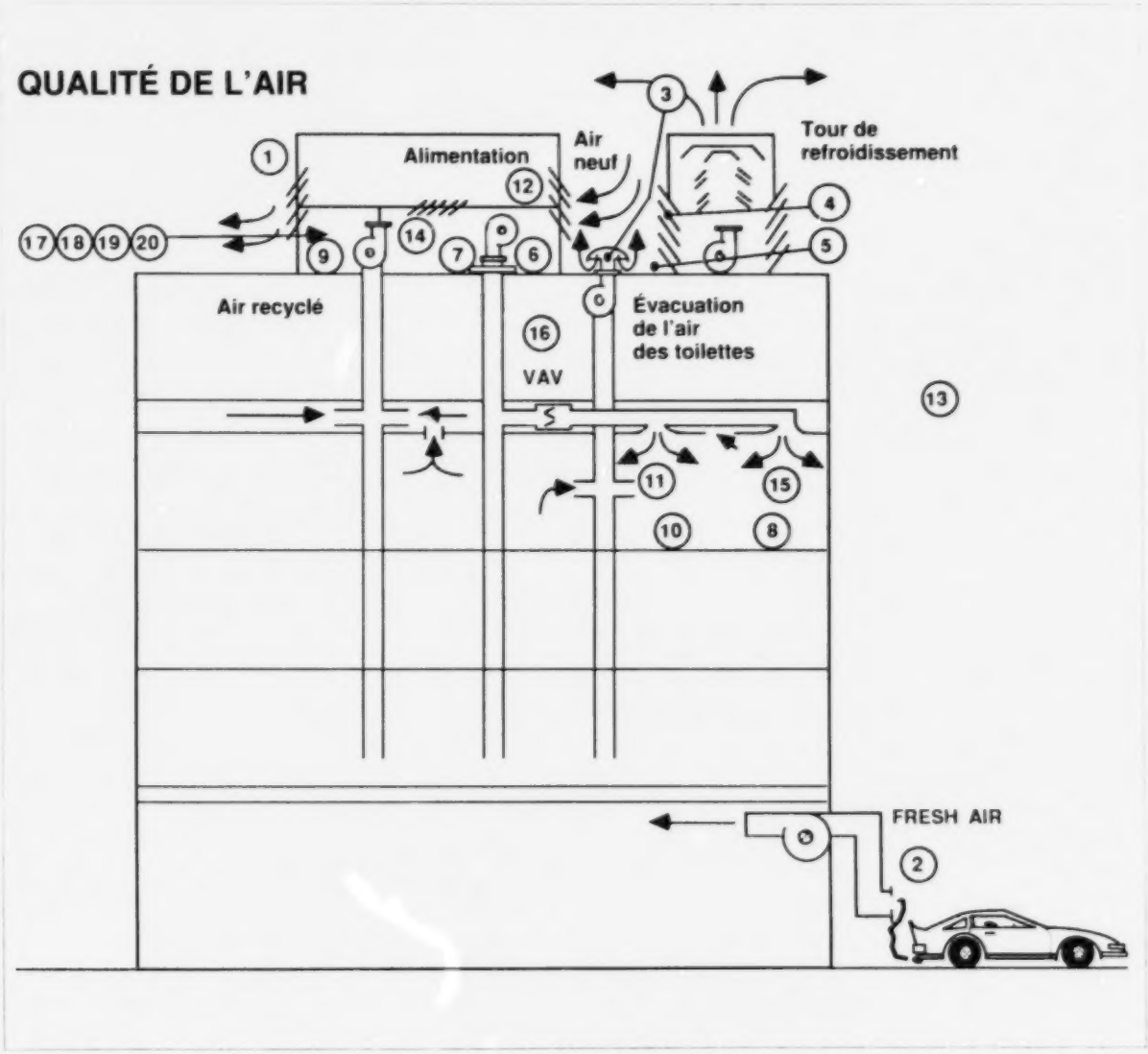


Figure 8.5

9.0
Éclairage

9.0 ÉCLAIRAGE

9.1 Introduction

Le coût de l'éclairage d'un bâtiment à usage commercial représente en général 20 à 30% du coût total de l'énergie qui y est consommée. Jusqu'à ces derniers temps, l'électricité était assez peu coûteuse, et l'on ne se souciait pas beaucoup, lors de la conception des bâtiments, des coûts de fonctionnement des systèmes d'éclairage: leur choix et leur conception se fondaient la plupart du temps sur la minimalisation du coût en capital. Il existe donc aujourd'hui beaucoup de possibilités de réduction de la consommation énergétique des systèmes d'éclairage de la plupart des bâtiments.

Le présent chapitre commence par une étude des différents systèmes d'éclairage utilisés dans les bâtiments. On y explique comment il convient d'évaluer un système d'éclairage avant de se lancer dans un programme d'économies d'énergie et l'on décrit les effets qu'un tel programme peut avoir sur la charge de chauffage/refroidissement du bâtiment. L'action des commandes marche/arrêt sur les divers types d'appareils d'éclairage est également décrite. La dernière partie du chapitre comporte une liste récapitulative des mesures à mettre en oeuvre dans le cadre d'un programme d'économie d'énergie applicable au système d'éclairage.

Les systèmes d'éclairage ont cinq buts:

1. fournir un éclairement suffisant, qui permet aux occupants de voir et d'être productifs dans leur travail;
2. éclairer les passages servant à l'entrée et à la sortie des personnes;
3. s'harmoniser avec l'architecture et la décoration du bâtiment de façon à créer un environnement confortable et agréable;
4. faire obstacle au vandalisme (éclairage extérieur);
5. attirer l'attention sur un produit ou un étalage.

Le Lighting Handbook (1981) de l'Illuminating Engineers Society (IES) contient des recommandations utiles sur l'éclairement nécessaire à différents types de travaux. Un luxmètre simple et peu coûteux permet de mesurer l'éclairement et de le comparer aux chiffres recommandés dans l'ouvrage susmentionné. (Remarque: les luxmètres doivent être fréquemment étalonnés.)

Un système d'éclairage bien conçu doit fournir un éclairement suffisant pour les activités qui se déroulent dans les locaux. Dans bien des cas, au stade de la conception, la quantité de lumière (appelée éclairement) est le seul critère utilisé pour la détermination de l'éclairage à fournir. De récentes études ont cependant montré que la qualité de la lumière est un facteur tout aussi important, dont il faut tenir compte lorsqu'on conçoit ou modifie un système d'éclairage.

Le confort visuel des occupants et leur productivité sont directement liés à la quantité de lumière qui leur est fournie, ainsi qu'aux moyens utilisés à cette fin. Chaque fois que se présente la possibilité de réduire la consommation énergétique de l'éclairage, on doit en profiter pour en améliorer la qualité.

9.2 Types d'éclairage

On distingue en général trois types de lampes d'éclairage, qui sont décrites dans les lignes qui suivent.

Lampes à incandescence

La lumière est produite par le passage de l'électricité dans un filament très fin placé dans une ampoule soumise à un vide partiel. Le passage du courant porte le filament à une température assez élevée pour le rendre lumineux. Ce type d'éclairage est le moins efficace en termes d'énergie consommée par unité de lumière produite. En outre, les lampes à incandescence ont une durée de vie plus courte que les autres types d'éclairage. Cette infériorité est toutefois compensée par le faible coût de remplacement des lampes à incandescence, leur petite taille et leur commodité d'emploi (elles n'exigent ni ballasts ni transformateurs).

Lampes fluorescentes

La lumière est produite par le passage d'un courant électrique dans un tube rempli de gaz inertes. Cette lumière est teintée par l'émulsion phosphorée recouvrant la surface intérieure du tube. Ce type d'éclairage exige l'emploi de ballasts pour la régulation de la tension d'allumage.

Lampes à décharge à haute intensité

Ces lampes produisent de la lumière par décharge électrique dans de la vapeur de mercure ou de sodium. Ce type d'éclairage exige, lui aussi, l'emploi de ballasts.

L'efficacité lumineuse des divers types de lampes est donnée dans la figure 9.1. (On appelle efficacité lumineuse le nombre de lumens produits par watt.) Comme l'efficacité lumineuse de chaque type dépend de la taille des lampes et du fabricant, la figure donne pour chaque type la gamme des

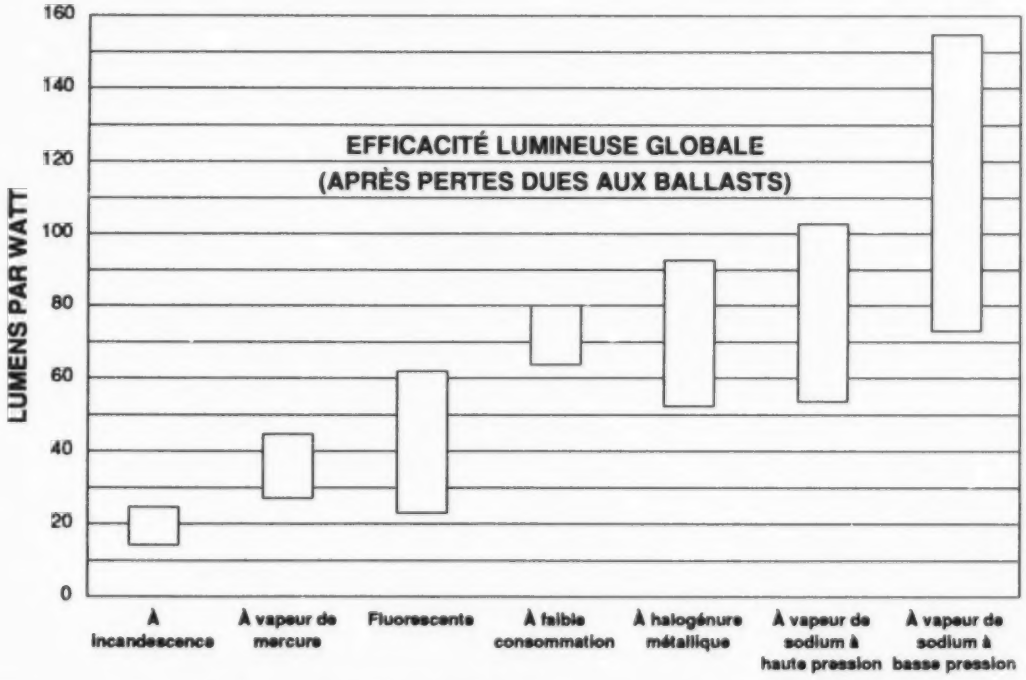


Figure 9.1 NOTE: PLUS LE RAPPORT LUMENS/WATT EST ÉLEVÉ PLUS L'EFFICACITÉ LUMINEUSE AUGMENTE

efficacités possibles.

9.3. Analyse des systèmes d'éclairage existants

Avant d'élaborer un programme d'économie d'énergie destiné au système d'éclairage, il convient d'en analyser les installations existantes et de recueillir des renseignements sur:

- la quantité de lumière fournie dans chaque zone;
- les appareils d'éclairage et leur consommation d'énergie;
- l'activité des occupants dans chaque zone et le temps total d'éclairage, mesuré au moyen d'un totalisateur.

Ces renseignements permettent de comparer l'éclairement employé dans le bâtiment à celui qu'il est recommandé d'utiliser. On peut alors déterminer les économies d'énergie réalisables par:

- réduction de la consommation des appareils d'éclairage, soit en les modifiant, soit en les remplaçant, ou bien en réduisant niveaux d'éclairement;
- réduction des durées d'éclairage en fonction de l'activité des occupants.

La consommation d'énergie d'un appareil d'éclairage et la quantité de lumière qu'il produit dépendent:

- de la température de fonctionnement: elle a peu d'effet sur la production de lumière des lampes à décharge à haute intensité;
- de la tension en service;
- du ballast et de ses caractéristiques de fonctionnement;
- de l'âge des lampes: plus elles vieillissent moins elles produisent de lumière;
- de la fréquence de nettoyage des lampes et des réflecteurs.

La qualité de l'éclairage dépend du niveau d'éclairement, mais également:

- de la configuration géométrique du local à éclairer;
- de la hauteur à laquelle les appareils d'éclairage sont fixés;
- de la hauteur du plan de travail ou de la zone à éclairer;
- du pouvoir réfléchissant du plafond, des murs et du plancher;
- de la teinte que prennent les objets éclairés;

Il faut également tenir compte des facteurs ci-dessous qui finis- sent par avoir des conséquences sur les niveaux d'éclairement:

- l'encrassement des appareils d'éclairage ou l'altération de leurs matériaux constitutifs peuvent en réduire le pouvoir réfléchissant ou la translucidité;
- l'encrassement des surfaces du local peut provoquer la perte d'une partie de la lumière réfléchie;

- le nombre de lampes ou d'ampoules grillées.

9.4 Effets de l'éclairage sur le chauffage et la climatisation

Le dernier facteur à prendre en compte avant de se lancer dans un programnme de gestion énergétique, notamment dans le cas des grands bâtiments, concerne les effets de l'éclairage sur le chauffage et la climatisation des locaux.

Il faut savoir que la totalité de l'énergie consommée pour l'éclairage finit par se transformer en chaleur. Ces calories vont alors peser lourdement sur la charge de refroidissement des locaux. L'énergie nécessaire à la climatisation d'un local est celle qui est consommée par l'équipement de réfrigération (centrale frigorifique, climatiseurs de fenêtres ou bien installés sur le toit), par les pompes servant à faire circuler l'eau froide dans les locaux et par les ventilateurs de circulation de l'air rafraîchi. On peut réduire la taille de tous ces éléments si l'on diminue la chaleur produite par les lampes.

En revanche, la réduction de la consommation d'énergie du système d'éclairage a pour effet d'augmenter la charge de chauffage en hiver, en raison de la diminution de la quantité de chaleur produite par les lampes. Il importe donc de calculer l'impact de tous ces effets lors de l'élaboration des mesures destinées au système d'éclairage.

9.5 Allumage et extinction des lampes

En ce qui concerne la durée d'utilisation, on doit d'abord tenir compte du type des lampes à allumer et à éteindre. Les lampes à incandescence sont compatibles avec les interrupteurs de tous genres, et la fréquence des extinctions est sans effet sur leur durée de vie. Celle des lampes fluorescentes, par contre, est raccourcie par des extinctions et des allumages très fréquents. En règle générale, il est économique de les éteindre pour une dizaine de minutes ou plus.

Les lampes à décharge à haute intensité ne sont pas aussi commodes à éteindre et à allumer que les lampes susmentionnées, car il leur faut plusieurs minutes pour se rallumer.

Dans bien des cas, la commande automatique est le moyen le plus commode et le plus économique

d'éteindre les lampes.

9.6 Gestion énergétique de l'éclairage

Les mesures de gestion énergétique décrites ci-après sont de deux sortes, à savoir:

- les améliorations à faible coût en capital;
- les mesures générales d'utilisation et d'entretien.

Dans ce qui suit, les mesures numérotées de 2 à 17 renvoient aux chiffres correspondants de la figure 9.2.

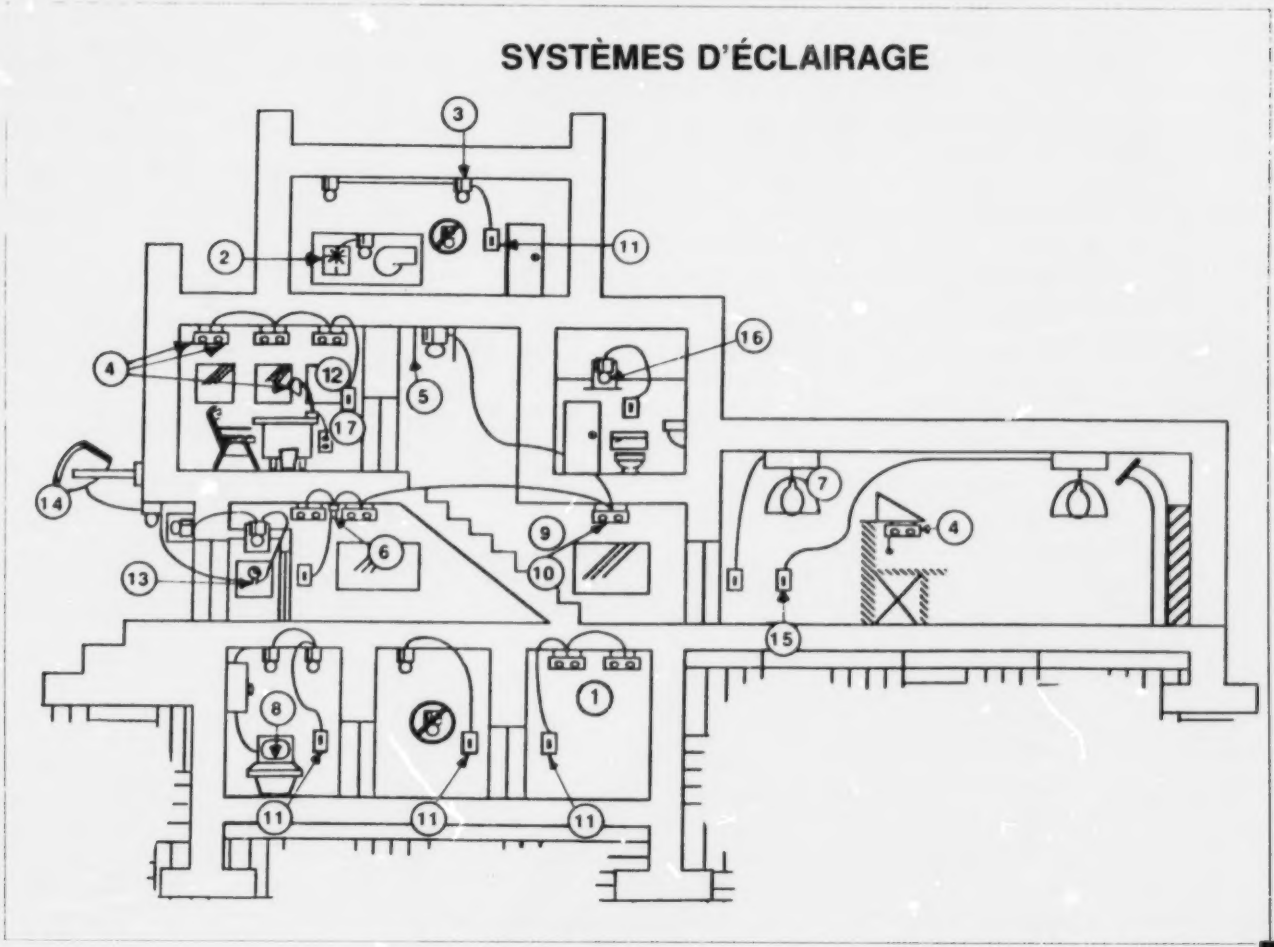


Figure 9.2

9.6.1 Améliorations à faible coût en capital

1. Réduction des niveaux d'éclairement

Cette réduction peut se faire par diminution du nombre de luminaires ou au moyen de limiteurs

de courant (dans le cas des lampes fluorescentes).

2. **Installation de lampes témoins**

Munir de lampes témoins tous les interrupteurs des lampes installées dans les locaux ayant de grandes unités de traitement de l'air. Ces témoins indiquent si les sources d'éclairage correspondantes sont allumées.

3. **Remplacement des lampes à incandescence**

Si possible, remplacer les lampes à incandescence par des lampes fluorescentes à fixation par vissage.

4. **Adoption d'un éclairage adapté aux tâches à exécuter**

Installer la source lumineuse le plus près possible du poste de travail, la munir d'un interrupteur local, puis réduire le niveau général d'éclairage. Une autre solution consiste à subdiviser le système d'éclairage général en sections dont chacune est munie d'un interrupteur local. On aurait de la sorte:

- des lampes mobiles pour les postes de travail;
- des lampes installées dans les postes de travail;
- des lampes dans les salles de conférence;
- des lampes dans les couloirs et lieux de passage.

Après mise en oeuvre de ces mesures, régler les niveaux d'éclairement de toutes les zones conformément aux recommandations de l'IES Handbook (7e édition).

5. **Emploi de lampes à haute efficacité lumineuse**

Les lampes à faible efficacité lumineuse (lampes à incandescence) dont la durée d'utilisation hebdomadaire dépasse 60 heures devraient être remplacées par des lampes fluorescentes, car ces dernières sont plus efficaces.

Cette mesure est encore plus rentable dans le cas des lampes difficilement accessibles, puisque la durée de vie des lampes fluorescentes est 10 à 20 fois plus longue que celle des lampes à incandescence. Lorsque la teinte de la lumière émise est sans importance (éclairage extérieur, de sécurité nocturne, éclairage des entrepôts, garages, etc.), envisager de remplacer les lampes à incandescence par des lampes à décharge à haute intensité.

6. **Cellules photoélectriques**

Employer des cellules photoélectriques pour éteindre automatiquement les lampes dès que la lumière naturelle est suffisante dans les locaux.

7. **Lampes à haute efficacité**

Utiliser dans les ateliers et garages des lampes à haute efficacité lorsque leur durée d'utilisation justifie les coûts de la modification. Remplacer les lampes fluorescentes grillées par des lampes à haute efficacité, à condition qu'il y ait compatibilité entre lampes et ballasts.

Note : Les lampes à vapeur de mercure à haute intensité sont moins efficaces que les lampes fluorescentes, tandis que les lampes à vapeur de sodium à haute pression sont plus efficaces.

Les lampes à vapeur de sodium à basse pression sont les plus efficaces de toutes. Ne pas employer de lampes fluorescentes à faible consommation énergétique dans les zones où la température descend au-dessous de 15°C.

8. **Commande et régulation automatiques de l'éclairage**

Dans les bâtiments à forte charge d'éclairage, l'emploi de systèmes de commande et régulation automatiques permet de programmer l'allumage et l'extinction des lampes. On peut utiliser des cellules photoélectriques pour éteindre les lampes extérieures dès qu'il fait jour ou bien employer un chronorupteur pour les lampes à décharge à haute intensité. Consulter des spécialistes avant de

mettre en oeuvre cette mesure.

9. **Ballasts à haute efficacité**

Remplacer les ballasts défectueux par des ballasts à haute efficacité et faible consommation énergétiques. Leur emploi se justifie quand la durée d'utilisation des lampes permet d'amortir leur surcoût. Ce cas se présente lorsque les lampes restent allumées plus de 2500 heures par an.

10. **Réflecteurs**

Ils permettent d'intensifier la lumière émise par les appareils d'éclairage, donc de réduire le nombre de tubes par appareil. Consulter des experts avant de mettre en oeuvre cette mesure.

Lors d'un réaménagement des locaux, envisager de repeindre les plafonds et murs en teintes claires, plus réfléchissantes.

9.6.2 Mesures générales d'utilisation et d'entretien

11. **Commande manuelle de l'éclairage**

Charger le personnel d'entretien et d'exploitation d'éteindre les lampes avant de quitter; afficher un mémento à proximité de tous les interrupteurs. Charger également les équipes de ménage d'éteindre les lumières après avoir terminé leur travail. Si le ménage se fait durant les heures ouvrables, envisager la connexion en parallèle des appareils d'éclairage à de l'équipement commandé par un chronorupteur, de façon à éteindre les lumières lorsque le bâtiment n'est plus occupé.

12. **Usage de la lumière naturelle**

Conseiller aux occupants de faire autant que possible usage de la lumière et d'éteindre leurs lampes lorqu'elle est suffisante.

13. **Réduction de l'éclairage nocturne**

Réduire au minimum l'éclairage des vestibules et corridors quand le bâtiment est inoccupé.

14. **Réduction de l'éclairage architectural**

N'utiliser ce type d'éclairage qu'à des fins esthétiques.

15. **Réduction des zones éclairées**

Éclairer en priorité les locaux où l'on travaille.

16. **Lumières encastrées**

Remplacer les lampes à incandescence des lumières encastrées par des lampes fluorescentes munies de réflecteurs et pouvant être installées par vissage.

17. **Gradateurs de lumière**

Utiliser au besoin des gradateurs de lumière. Remarque: les gradateurs à rhéostat n'économisent pas l'énergie: ils transforment simplement en chaleur l'énergie non utilisée pour l'éclairage. Il est donc préférable d'employer des gradateurs électroniques.

10.0
Automatisation

10.0 AUTOMATISATION

10.1 Introduction

On décrit dans le présent chapitre les caractéristiques d'un système de commande automatique utilisable dans le cadre d'un programme de gestion de l'énergie, ainsi que le choix des composants et des types de commande. On étudie également les caractéristiques des divers types de systèmes. La dernière partie du chapitre décrit la marche à suivre pour le choix d'un système de commande automatique et traite de certains des problèmes qui se posent couramment après son installation.

Beaucoup de bâtiments d'un âge vénérable ont une capacité de chauffage et de refroidissement amplement suffisante. Mais on y est souvent confronté, sur le plan du confort et du fonctionnement, aux problèmes posés par la vétusté du système de commande. C'est pourquoi son automatisation est doublement avantageuse, car elle permet d'économiser l'énergie et d'améliorer très sensiblement le degré de confort.

Le système de commande automatique d'un bâtiment peut être très compliqué ou bien très simple. Tout dépend de ce que l'on veut en faire. Un système de gestion énergétique peut être bénéfique même à des bâtiments n'ayant que 470 m_2 de superficie.

10.2 La fonction commande

Tout système de commande automatique se compose des trois éléments fondamentaux suivants:

1. Capteurs servant à mesurer.
2. Régulateurs.
3. Matériel soumis à la régulation.

Un exemple de capteur nous est fourni par le thermomètre qui envoie à un régulateur un signal pneumatique ou électronique proportionnel à la température mesurée.

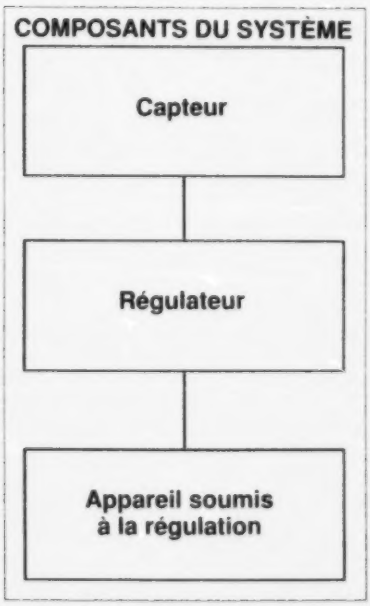


Figure 10.1

Le régulateur reçoit le signal du capteur (appelé signal d'entrée), le compare à la valeur de consigne, puis envoie un signal (dit de sortie) à l'appareil soumis à la régulation. Le régulateur pneumatique est un exemple de régulateur mettant en oeuvre la variation de la presion pneumatique. Les moteurs des soupapes et registres sont des exemples types d'appareils soumis à la régulation automatique dans les bâtiments à usage commercial.

Systèmes classiques de commande et régulation

Le système conventionnel de la plupart des bâtiments est du type pneumatique illustré ci-dessous.

Le même type de commande peut être réalisé électroniquement: au lieu d'utiliser la pression pneumatique, on se sert de la tension d'un courant continu pour commander l'appareil soumis à la régulation. Comme ils sont moins coûteux à installer, les systèmes pneumatiques sont actuellement plus nombreux que leurs homologues électroniques.

La commande peut aussi être réalisée par un ordinateur (ou un microprocesseur) doté d'un logiciel spécial pour contrôler le fonctionnement d'une grande variété de capteurs et d'appareils.

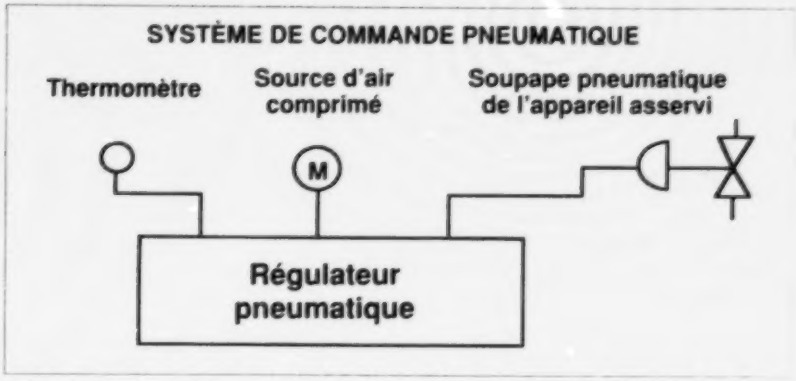
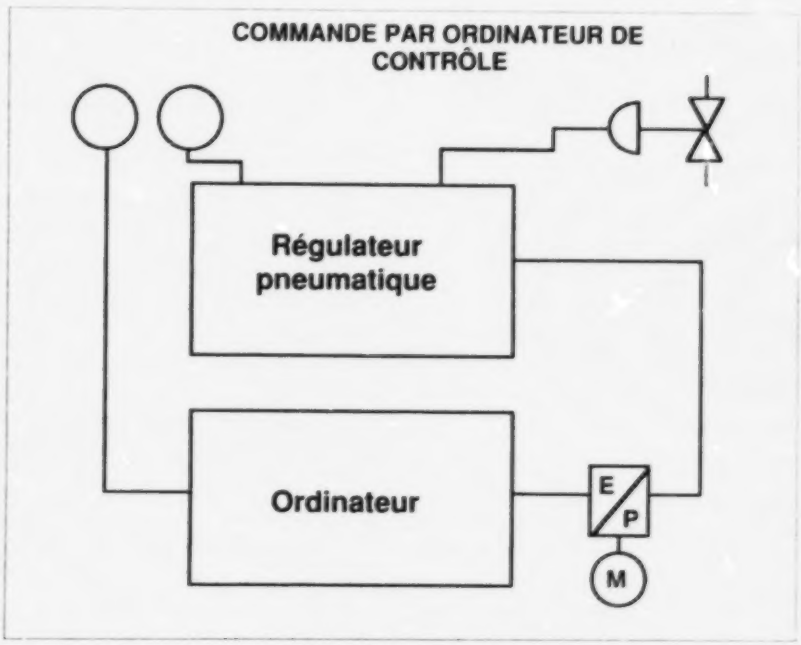


Figure 10.2

Commande par ordinateur de contrôle

Dans ce système, un ordinateur contrôle le fonctionnement du dispositif de commande. La figure 10.3 illustre une méthode dans laquelle un ordinateur de contrôle et de prise de décision a été associé au système existant de commande pneumatique. L'installation d'un nouvel ensemble de capteurs électroniques permet de fournir directement à l'ordinateur les données nécessaires. Dans la plupart des cas, ces nouveaux capteurs sont plus fiables et n'ont pas à être étalonnés en permanence.

L'ordinateur est programmé de façon à lire les signaux thermométriques et à envoyer un signal de sortie qui modifie le point de consigne du régulateur pneumatique. Un transducteur E/P (c'est-à-dire électronique/pneumatique) sert à convertir le signal électronique en pression pneumatique, et celle-ci modifie à son tour le régulateur conformément aux instructions de l'ordinateur. En cas de défaillance de ce dernier, le système pneumatique reste opérationnel si l'on a soin de conserver le capteur et de l'étalonner convenablement. La commande par ordinateur de contrôle a un inconvénient: elle nécessite le maintien de deux systèmes.



Commande numérique directe

C'est une autre méthode de commande par ordinateur, dans laquelle celui-ci contrôle le fonctionnement d'appareils jouant directement le rôle de régulateurs pneumatiques ou électroniques.

Dans la conversion d'un système pneumatique en commande numérique directe, il est rarement économique de transformer les régulateurs (soupapes et interrupteurs, par exemple) des appareils. Les régulateurs pneumatiques sont moins chers et exigent en général moins d'entretien que les régulateurs à commamde motorisée. C'est pourquoi on peut installer un transducteur pour convertir le signal numérique en une pression lisible par le régulateur des appareils. L'exemple de la figure 10.4 montre l'incorporation d'un transducteur dans un système. L'emploi d'une commande numérique directe n'entraîne pas nécessairement l'élimination des régulateurs pneumatiques.

Le fonctionnement des systèmes à commande numérique directe dépend en permanence de l'ordinateur. La défaillance de ce dernier entraîne forcément l'arrêt du système qui en dépend.

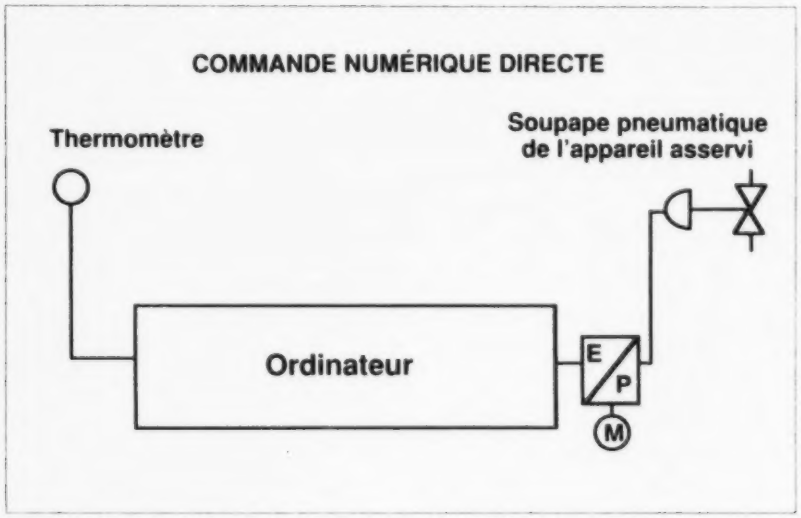


Figure 10.4

10.3 Applications des systèmes de commande automatique

Le gestionnaire qui se propose d'installer un tel système dans le bâtiment dont il a la responsabilité est conduit à le faire pour:

- améliorer les conditions de confort et d'exploitation;
- augmenter la sécurité;
- réduire les coûts d'exploitation, y compris ceux de l'énergie;
- gérer le bâtiment avec plus d'efficacité.

Selon les besoins à combler, on achètera un système qui permet de faire l'une ou l'autre des choses ci-dessus, voire les quatre.

La présente section porte principalement sur les possibilités qu'offre un tel système sur le plan de la gestion de l'énergie.

Une autre section du présent chapitre décrit la marche à suivre pour déterminer les besoins de votre bâtiment, y compris ceux qui concernent la sécurité. Les lignes qui suivent traitent succintement des diverses options susceptibles d'être incorporées dans un système de commande automatique par ordinateur.

Programmation des mises en marche et des arrêts

L'emploi d'un logiciel permet de programmer la mise en marche et l'arrêt des appareils. Et chaque appareil peut avoir son propre programme de marche. On peut ainsi optimiser leur utilisation et réduire les primes de puissance dues aux fonctionnement simultané de certains d'entre eux.

Logiciel d'alarme/surveillance

Ce type de logiciel déclenche l'alarme (ou une action précise) en cas de dépassement d'une valeur limite (maximum ou minimum).

On s'en sert d'habitude pour surveiller la durée de marche des appareils, la température, la pression, le niveau des liquides.

Contrôle énergétique

Cette fonction permet l'enregistrement et l'accumulation des données concernant la consommation de combustible et d'électricité, de façon à améliorer l'analyse de l'évolution de la consommation. L'emploi de logiciels et de données supplémentaires permet l'analyse de la performance énergétique du système et des ses composants individuels.

Réduction des appels de puissance

Ce logiciel permet de réduire les appels de puissance en arrêtant ou retardant le fonctionnement de certains appareils électriques non essentiels en période de pointe. Aussitôt que celle-ci est passée, les appareils sont automatiquement remis en marche.

Cyclage des appareils

Ce logiciel exécute les cycles de marche/arrêt des appareils. On peut ainsi éviter le fonctionnement simultané de plusieurs appareils n'ayant pas à travailler en continu et limiter la consommation d'énergie de l'équipement asservi au système. Ce logiciel convient très bien à la régulation et à la commande des compresseurs frigorifiques et des résistances servant à faire fondre la neige ou à réchauffer les pompes.

Optimisation des mises en marche et des arrêts

Ce type de logiciel permet de déterminer avec précision le moment de mettre en marche le chauffage (ou le refroidissement) préalable du bâtiment. Il permet également d'optimiser les démarrages et les arrêts de l'équipement de façon à en réduire au minimum le temps de marche. Et le système

contrôle les températures de façon à optimiser en permanence le confort des occupants. L'une des applications les plus fréquentes de ce logiciel est la régulation du chauffage à la suite d'une période de marche à température réduite (chauffage nocturne).

Optimisation de la ventilation

Ce logiciel sert à optimiser le mélange d'air neuf et d'air recyclé en fonction de leurs enthalpies. Il est destiné à maximiser le refroidissement en régime libre et la régulation des flux thermiques. Il va de soi que ce logiciel n'est employé que pour les systèmes de ventilation mettant en oeuvre un mélange d'air neuf et d'air recyclé.

Optimisation de la température de l'air d'alimentation

Ce logiciel permet la régulation de la tempértaure de l'air d'alimentation en fonction des besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment. Il peut être employé dans divers types de systèmes (à double gaine, à réchauffage multizones, à volume d'air variable). En réglant de façon interactive la température de l'air d'alimentation selon la variation de la charge de chauffage ou de refroidissement du bâtiment, ce type de régulation par logiciel permet de réduire au minimum les coûts énergétiques.

Optimisation de la marche des refroidisseurs et des chaudières

Lorsque le système de refroidissement se compose de plusieurs refroidisseurs, ce type de logiciel permet d'exploiter la capacité minimale pouvant satisfaire la demande de froid. Lorsque les refroidisseurs sont tous de même taille, le logiciel permet de les faire fonctionner en alternance de façon à égaliser ou à équilibrer les durées de marche. L'optimisation de la marche des chaudières se fait au moyen d'un logiciel similaire.

Optimisation de la température de l'eau d'alimentation

Ce type d'optimisation permet la régulation de la température de l'eau froide et de l'eau chaude des systèmes de refroidissement et de chauffage en fonction des besoins réels du bâtiment. Pour réduire au minimum le gaspillage de l'énergie, le logiciel diminue la température de l'eau servant au chauffage et augmente celle de l'eau destinée au refroidissement, tout en fournissant la climatisation nécessaire.

Minoration/majoration des températures

Ce type de régulation permet de programmer la température des locaux durant les périodes d'inoccupation. On peut ainsi faire des économies de chauffage en programmant une minoration de la température en hiver. Inversement, on économisera l'énergie destinée au refroidissement en programmant une majoration de la température en été.

Autres possibilités de régulation

L'automatisation des systèmes de régulation offre également les possibilités suivantes:

- régulation de l'éclairage extérieur et intérieur;
- optimisation de la température de l'eau chaude à usage domestique de façon à l'adapter aux besoins du bâtiment;
- optimisation du débit des réservoirs des chasses d'eau des urinoirs;
- applications spéciales (pour les piscines par exemple).

10.4 Types de systèmes de commande automatique

Les systèmes de commande automatique utilisés dans les bâtiments comprennent ceux qui contrôlent les fonctions de gestion de l'énergie et ceux qui s'appliquent à des fonctions telles que la sécurité par exemple. On classe tous ces systèmes d'après les éléments suivants:

- nombre de points soumis à la régulation;
- moyens de régulation;
- type de la transmission des données entre le régulateur et les points soumis à la régulation.

Les caractéristiques de ces systèmes sont succintement décrites ci-après.

Système à une seule fonction

- régulateurs non informatisés
- en règle générale, un ou deux points soumis à la régulation
- logique réalisée par câblage
- applications spéciales (horloge de pointage, minoration des températures de chauffage, etc.)

Système à microprocesseur multifonctions

- commandé par microprocesseur
- en règle générale, 8 à 16 points soumis à la régulation
- réglage variable des points de consigne
- logique programmable
- microprocesseur relié par câblage aux capteurs et au matériel soumis à la régulation.

Système à centre de commande par microprocesseurs

- plus de 16 points soumis à la régulation
- commande centralisée pour tous les points
- transmission des données par lignes du réseau électrique
- logique programmable pour certaines fonctions de gestion énergétique préalablement déterminées

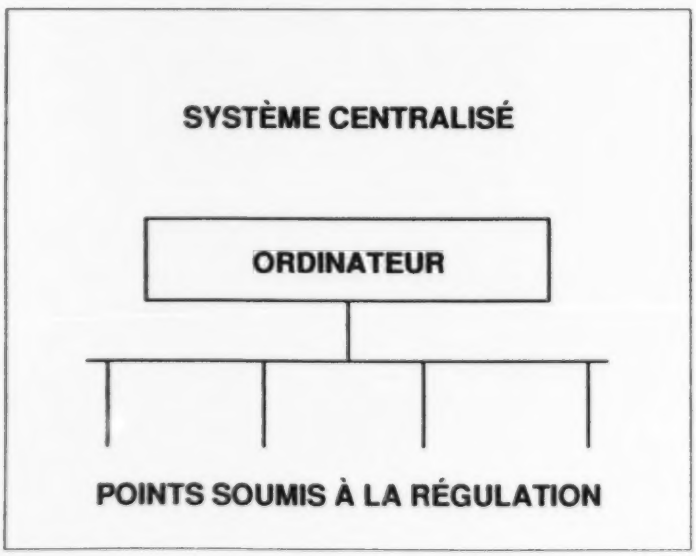


Figure 10.5

Système à ordinateur central et intelligence répartie

- possibilité de soumettre de nombreux points à la régulation
- tableaux de commande sur le terrain (intelligence restreinte)
- logiciel programmable pour les fonctions de gestion énergétique
- programmation limitée des tableaux de commande sur le terrain
- capteurs et appareils soumis à la régulation sont reliés aux tableaux de commande par câblage
- transmission des données par lignes téléphoniques à paires torsadées, par câbles coaxiaux ou par lignes du réseau électrique.

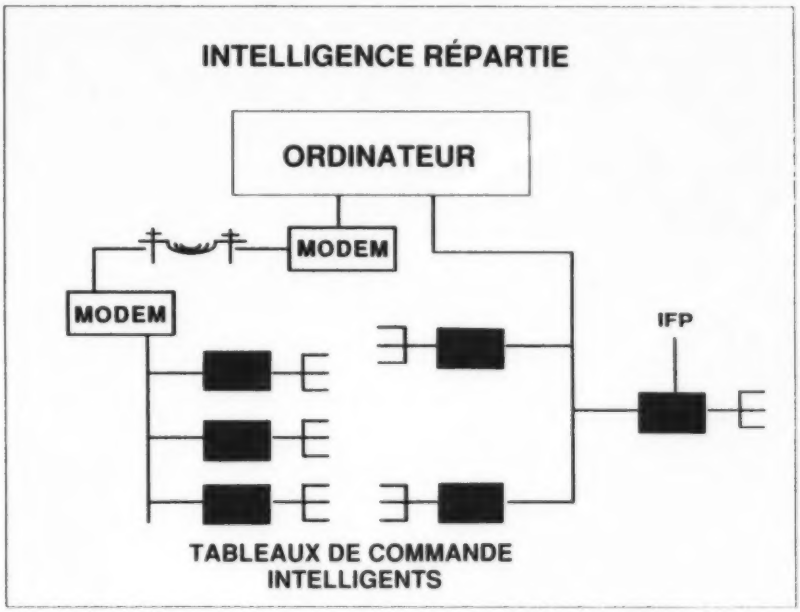


Figure 10.6

Système à intelligence entièrement répartie

- microprocesseurs multifonctions dans les tableaux de commande sur le terrain
- possibilité de soumettre de nombreux points à la régulation
- se passe d'ordinateur central
- les tableaux de commande sur le terrain exécutent la plupart des fonctions du logiciel
- capteurs et appareils soumis à la régulation sont reliés aux tableaux de commande par câblage

Choix du meilleur système

Les figures 10.5 et 10.6 permettent de comparer le système centralisé au système à intelligence entièrement répartie.

Ce dernier réduit les coûts de câblage dans les grands bâtiments et bénéficie de la fiabilité accrue que confère l'emploi de plus d'un ordinateur. Le type de bâtiment, la répartition et le nombre de points à soumettre à la régulation sont les facteurs déterminants du choix du système le plus rentable pour telle ou telle application. Dans nombre de cas, le système simple, à une seule fonction, se révèle le plus rentable.

10.5 Choix d'un système de commande automatique

Ce choix dépend des besoins du bâtiment auquel le système est destiné. Il importe donc de bien les étudier avant de choisir l'appareillage de commande. Les différentes étapes du processus conduisant au choix d'un système de commande automatique sont décrites ci-dessous.

Planification

- détermination des besoins
- recherche de l'information
- étude du bâtiment sur place
- détermination des modifications à apporter aux systèmes de commande existants pour les rendre plus performants
- détermination des modifications à apporter à l'équipement
- étude des logiciels susceptibles d'être employés

Conception du système

- choix des points à soumettre à la régulation
- choix de la configuration du système
- coordination des moyens de communication
- choix de la configuration des moyens téléinformatiques
- choix de l'emplacement du matériel à employer sur le terrain
- conception et emplacement de la salle de commande centralisée
- étude de l'instrumentation et des appareils de commande
- câblages à réaliser
- protection contre les tensions transitoires dues à la foudre

Contrat

- documentation
- plans
- devis

Le propriétaire (ou l'exploitant) du bâtiment peut confier à un consultant le soin de choisir le système et d'établir le cahier des charges destiné à l'appel d'offres. Le propriétaire (ou l'exploitant) doit au moins prendre part à la détermination des besoins et au choix des points à soumettre à la régulation. Chacun de ces points entraîne un coût de 250 à 1000 dollars, qu'il convient d'ajouter à celui du système. Il importe donc de bien étudier chacun d'entre eux et d'en justifier le choix. Il faut éviter les régulations excessives et les fonctions pouvant faire double emploi avec celles du système pneumatique existant, parfois aussi performantes, sinon plus que celles qu'on se propose d'installer.

Le logiciel du système de commande automatique est d'une importance capitale pour l'efficacité de l'exploitation du bâtiment. Il importe donc de bien en étudier les applications et d'examiner la performance des logiciels et matériels du fournisseur dans des installations existantes, seul moyen d'obtenir des renseignements précieux pour le choix d'un système.

Annexes

Annexe 1: Unités de mesure de l'énergie

L'énergie est utilisée sous diverses formes dans un bâtiment: électricité, gaz naturel, mazout, charbon, bois ou propane.

Dans certains cas, l'énergie thermique est reçue directement, par exemple sous forme de vapeur (pour le chauffage) ou d'eau froide (pour le refroidissement). Chaque forme d'énergie a sa propre unité de mesure. Les unités suivantes sont employées au Canada:

SOURCE D'ÉNERGIE		UNITÉ DE MESURE
électricité	:	puissance appelée: kilowatt (kW)
		consommation: kilowatt-heure (kWh)
gaz naturel	:	mètre cube (m^3)
mazout	:	litre (L)
vapeur	:	kilogramme (kg)
propane	:	litre (L)
charbon	:	kilogramme (kg)
		tonne (t)

Ces unités sont décrites ci-dessous

Consommation d'électricité - kWh

On peut considérer l'électricité comme la manifestation du passage des électrons dans un conducteur, phénomène auquel on donne le nom de courant. Le compteur d'électricité sert à mesurer le débit des électrons, c'est-à-dire l'intensité du courant, qui s'exprime en ampères. La différence de potentiel qui cause le passage des électrons dans le conducteur se mesure en volts. Le produit de l'intensité du courant par la différence de potentiel donne la puissance, qui s'exprime en watts et que le compteur d'électricité permet de mesurer et d'enregistrer. Comme le watt ne représente qu'une toute petite puissance, nous utilisons d'habitude le kilowatt, qui vaut mille watts.

Si nous utilisons l'énergie au rythme d'un kilowatt pendant une heure, notre consommation s'élève à un kilowatt-heure (kWh), qui est l'unité employée pour la facturation de notre consommation.

Puissance appelée - kW

C'est une mesure de notre taux de consommation. La plupart des producteurs d'énergie électrique facturent séparément la puissance maximale (la consommation de pointe) appelée au cour de la période de facturation.

Gaz naturel - m^3

Le gaz est livré au moyen d'une canalisation, et sa consommation s'exprime en mètres cubes (m3). Comme la masse d'un volume de gaz donné dépend de sa pression, le fournisseur utilise dans sa facturation un facteur permettant de prendre en compte les différences de pression. La loi fixe la quantité minimale d'énergie thermique que doit fournir chaque m3 de gaz facturé.

Vapeur - kg

On mesure le débit de la vapeur utilisée et on exprime la consommation en kilogrammes. Étant donné que la quantité de chaleur contenue dans un kilogramme de vapeur dépend de la pression, le contrat passé avec le fournisseur précise généralement la pression de référence à laquelle la consommation est facturée.

Annexe 1

Eau, mazout - Litres

Les consommations d'eau et de mazout s'expriment en litres.

Il y a cependant des exceptions à la règle. Si nous achetons de l'eau pour l'utiliser dans le chauffage (ou le refroidissement), nous achetons en réalité le pouvoir calorifique de cette eau. C'est pourquoi sa facturation doit porter sur le volume consommé aussi bien que sur la différence de température entre l'eau livrée au bâtiment et l'eau renvoyée au fournisseur.

Comme le mazout lourd est visqueux à température ambiante, on le réchauffe pour en faciliter le pompage entre le camion-citerne et le réservoir de stockage. Étant donné la dilatation du mazout sous l'effet de l'élévation de température, le fournisseur en tient compte dans sa facturation en employant un facteur de correction spécial.

Annexe 2: Mesure des consommations

La plupart des sources d'énergie (électricté, gaz naturel, vapeur et eau) sont livrées sous forme d'un débit continu. Ce débit est mesuré par des compteurs qui calculent et enregistrent les quantités totales livrées. Le compteur d'électricité peut également indiquer la puissance maximale appelée au cours d'une période donnée.

On trouvera ci-après une description succincte des types d'appareils communément employés pour mesurer l'énergie.

Compteurs d'électricité et indicateurs de pointe

ÉNERGIE = PUISSANCE X TEMPS (kWh = kW x h)

Le compteur d'électricité fait le calcul ci-dessus au moyen d'un disque tournant à une vitesse proportionnelle à la puissance (watts) absorbée. Le nombre de watts-heures est obtenu par totalisation des rotations du disque au cours d'une période donnée.

Les rotations sont accumulées dans un compteur de kilowatts-heures, dont le train d'engrenages est conçu de façon à faire correspondre le nombre de rotations du disque au nombre de kilowatts-heures consommés.

Les petits consommateurs commerciaux sont généralement équipés de compteurs qui mesurent en même temps les kilowatts-heures et les kilowatts de puissance appelée, grâce à l'emploi d'un totalisateur de kilowatts-heures et d'un compteur de kilowatts qui sont tous deux entraînés par l'élément rotatif.

La puissance maximale appelée par les grands consommateurs commerciaux et industriels est généralement enregistrée au moyen d'un indicateur de pointe à impulsions.

Compteurs de gaz

On peut assimiler le fonctionnement du compteur de gaz à une succession d'opérations de remplissage et de vidange d'une coupe de volume connu. Le volume total de gaz est égal au nombre de vidanges multiplié par le volume de la coupe. Les petits compteurs comportent deux soufflets qui se remplissent en alternance puis se vident dans le système. Le compteur multiplie le nombre de vidanges par le volume des soufflets et fait apparaître le résultat sur une série

La température ambiante et la pression du gaz livré influent sur le volume mesuré, mais le compteur permet de tenir compte de leurs effets grâce aux détendeurs qu'il comporte.

Les gros compteurs utilisent de petites turbines entraînées par le passage du gaz. Leur principe de fonctionnement s'apparente à celui des compteurs d'électricité: plus le débit de gaz est élevé, plus augmentent la vitesse de rotation des turbines et le nombre d'unités accumulées dans le compteur. Pour pouvoir tenir compte de l'effet des fluctuations de pression et de température, celles-ci sont enregistrées en continu; au moment de faire le relevé du compteur, on renvoie les enregistrements au fournisseur de gaz, qui en utilise les données pour établir la quantité exacte de gaz à facturer.

Compteurs de vapeur

Ils comportent, eux aussi, une turbine de mesure. Comme dans le cas du gaz naturel, la pression influe sur la quantité de vapeur passant dans le compteur, et l'on doit appliquer un facteur de correction aux chiffres affichés par le compteur pour obtenir les quantités exactes de vapeur.

La justesse des débitmètres employés pour mesurer les débits de vapeur et de gaz ne vaut que dans l'intervalle des débits figurant sur les appareils. Hors de cet intervalle (aux débits très bas ou très élevés), la justesse n'est plus assurée.

Annexe 2

Compteurs d'eau

On distingue deux types de compteurs d'eau. Les petits utilisent une coupe mesurante, les très grands, une turbine, et les moyens, une combinaison des deux, qui exige la totalisation de deux lectures pour donner la consommation totale. La température de l'eau influe sur la justesse. L'usage de ces compteurs est en général réservé à l'eau froide, ou bien à l'eau chaude dont la température se situe dans un intervalle précis.

Compteurs de mazout

Le mazout est généralement livré en quantités déterminées. Le mazout consommé par le chauffage n'est en général pas mesuré par des compteurs situés dans le bâtiment. Il existe trois moyens d'en mesurer le débit:

- à l'aide d'un débitmètre;
- par mesure des volumes dans les réservoirs de stockage;
- par une estimation fondée sur la durée de fonctionnement du brûleur et le débit du mazout qui y est consommé.

Annexe 3: Bibliographie

Chapitre 2: L'enveloppe du bâtiment

R.L. Quirouette. La différence entre un pare-vapeur et un pare-air. Conseil national de recherches du Canada: Note d'information sur la construction (no 54). Ottawa, Canada, 1985.

Ontario Ministry of Energy and Ontario Ministry of Citizenship and Culture. Heritage Energy Conservation Guidelines. Mars 1987.

Conseil national de recherches du Canada. Division des recherches sur le bâtiment. Humidité, condensation et ventilation dans les maisons: Actes du colloque «Regard 83 sur la science du bâtiment» NRCC23293, Ottawa, Canada, 1984.

Moisture Migration in Buildings. Symposium parrainé par l'ASTM Committee E-6 of Performance of Building Constructions, ASTM Special Technical Publication 779. ASTM. Philadelphie, Pa., 1980.

Allen-Drerup-White Ltd. et Enerplan Consultants Ltd. Primrose Housing Co-operative Moisture Damage Study. Ontario Ministry of Municipal Affairs and Housing. Toronto, Ontario, 1985.

Neil B. Hutcheon et Gustav O.P. Handegord. Building Science for a Cold Climate. John Wiley and Sons. Toronto, Ontario, 1983.

J.K. Latta. Murs, fenêtres et toitures pour le climat canadien. Division des recherches sur le bâtiment. Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Canada, 1973.

Association canadienne des constructeurs d'habitations. National Catalogue of Residential Energy Conserving Products and Services. Deuxième édtion. Toronto, Ontario, 1985.

Énergie, Mines et Ressources Canada. Répertoire canadien 1983 des produits d'économie d'énergie et des fournisseurs. Ottawa, Canada, 1983.

Ministère de l'Énergie et des Ressources, Bureau de l'efficacité énergétique. Étude de marché sur les équipements et technologies qui augmentent l'efficacité énergétique. Caron Bélanger Woods Gordon. Juin 1986.

W.D. Brown et G. Oustaas. Insulation Handbook. Ontario Research Foundation. Toronto, Ontario, 1981.

Conseil national de recherches du Canada: Publications de la Division des recherches sur le bâtiment. Cette division publie plusieurs types de rapports et d'articles, ainsi qu'une liste annuelle de ses publications. Celles-ci sont regroupées en:

Articles : Articles techniques décrivant les résultats des travaux de recherche. Ces articles, d'abord publiés dans des revues scientifiques ou des actes de congrès, paraissent ensuite sous forme de tirages à part.

Digests : Résumés de travaux techniques intéressant l'industrie du bâtiment. Les digests récents sont disponibles sous forme de feuillets individuels. Les numéros 1 à 200 sont disponibles sous forme de fascicules brochés.

Notes d'information : Rapports succincts sur les techniques et les problèmes actuels de la construction. Ces notes s'adressent au grand public.

Notes de recherches : Courts rapports destinés à la publication immédiate des résultats des travaux de recherches. Ces notes d'adressent à un public de spécialistes.

Annexe 3

Chapitre 4: Systèmes de chauffage

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. ASHRAE. Handbook - 1985 Fundamentals, Atlanta, GA., 1985.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. ASHRAE. Handbook - 1984 Systems, Atlanta, GA., 1984.

Carrier Air Conditioning Company. Handbook of Air Conditioning System Design. Syracuse, NY., 1984.

Ontario Ministry of Municipal Affairs and Housing. Ontario Building Code. Toronto, Ontario, 1983.

Code national de recherches Canada. Code national du bâtiment. Ottawa. Version la plus récente.

Chapitre 5: Eau chaude à usage domestique

L. Blundermann. Design of Plumbing and Drainage Systems. The Industrial Press, New York, NY., 1963.

V.S. Manian. «Reduce Supply Temperature in Service Water Heating Systems.» ASHRAE Journal, avril 1977.

B. Janofsky. «How to Design Domestic Hot Water Circulating Systems.» Air Conditioning, Heating and Ventilating, juin 1981.

L.E. Spielvogel et R.G. Werden. «Sizing of Service Water Heating Equipment in Commercial and Institutional Buildings.» ASHRAE Journal, août 1969.

Chapitre 6: Refroidissement et pompes à chaleur

ASHRAE Handbook - 1985 Fundamentals. (voir chapitre 4)

ASHRAE Handbook - 1984 Systems. (voir chapitre 4)

Conseil national de recherches du Canada. Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments. Ottawa, Canada, 1978.

C. Strock et R. Koral. Handbook of Air Conditioning, Heating and Ventilating. Deuxième édition. Industrial Press, New York, 1979.

Handbook of Air Conditioning System Design. (voir chapitre 4)

Trane Canada, Inc. Trane Air Conditioning Manual. Scarborough, Ontario, 1955.

Trane Canada, Inc. Trane Application Engineering Manual - WaterSource Heat Pump System Design. Scarborough, Ontario.

Ontario Hydro. Ontario Hydro-Electric Energy Manual. Toronto, Ontario, 1984.

First Canadian Heat Pump Conference. Proceedings 1982. Congrès parrainé par: Énergie, Mines et Ressources Canada, Conseil national de recherches du Canada, Association canadienne de l'électricité, Ontario Ministry of Energy.

Ground Source Heat Pump Workshops. Proceedings 1985. Actes publiés par Ontario Ministry of Industry and Trade, Ontario Hydro, Ontario Ministry of Energy.

V.P. Lang. Principles of Air Conditioning. Albany Delmar Publishers, New York, 1961.

Chapitre 7 Traitement de l'air

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbooks. (voir chapitre 4)

National Fire Protection Association (NFPA). National Fire Codes. Boston, Mass., 1982.

Ontario Building Code (OBC) 1983. (voir chapitre 4)

Code national du bâtiment. Commission de la santé et sécurité au travail. Règlement sur la qualité du milieu de travail. Québec, 1988.

Edison Electric Institute. Systems for Energy Conservation and Heat Recovery 78-23. Washington, D.C., 1978.

Chapitre 8: Qualité de l'air

J. Alzona, B.L. Cohen, H. Rudolph, H.N. Jow et J.O. Frohliger. «Indoor-Outdoor Relationships for Airborne Particulate Matter of Outdoor Origin», Atmospheric Environment, 13: 55-60, 1979.

J.R. Beall et A.G. Ulsamer. «Toxicity of Volatile Organic Compounds Present Indoors», Bulletin of New York Academy of Medicine, 57 (10) (1981): 978-996.

B. Berglund, I. Johansson et T. Lindvall. «The Influence of Ventilation on Indoor/Outdoor Air Contaminants in an Office Building», Environment International, 8 (1982): 395-399.

S. Budiansky. «Indoor Air Pollution», Environmental Science Technology, 14 (1980): 1023-1027.

David M. Egan. Concepts in Thermal Comfort. Prentice-Hall, New Jersey (1975).

P.O. Fanger et O. Valbjorn (eds.). Indoor Climate: Effects on Human Comfort, Performance, and Health in Residential, Commercial and Light Industry Buildings (Proc. First Int. Indoor Climate Symposium, Copenhagen, Aug. 30 - Sept. 1, 1978). Danish Building Institute, Copenhague, 1979.

B. Meyer. Indoor Air Quality. Addison-Wesley Publishing Co., Don Mills, Ontario, 1983.

National Research Council, Committee on Particulate Control Technology. Controlling Airborne Particle. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1980.

National Research Council, Committee on Indoor Pollutants. Indoor Pollutants. National Academy Press, Washington, D.C., 1981 (b).

W.D. Shape (ed.). «Symposium on Health Aspects of Indoor Air Pollution». Bulletin of New York Academy of Medicine, 57 (10): 825-1099, 1981.

J. Spengler, C. Hollowell, D. Moschandreas, O, Fanger (eds.). «Indoor Air Pollution: Proceedings of the International Symposium on Indoor Air Pollution, Health and Energy Conservation.» (Oct. 13-16, 1981, Amherst, Ma.). Environment International, 8 (1-6): 1-533, 1982.

Annexe 3

Chapitre 9: Éclairage

P.R. Boyce. Human Factors in Lighting. Applied Science Publishers, Londres, 1981.

Illuminating Engineering Society. Lighting Handbook, 4e édition. New York, N.Y., 1966.

Illuminating Engineering Society. Lighting Handbook, 5e édition. New York, N.Y., 1972.

Illuminating Engineering Society. Lighting Handbook Application Volume. New York, N.Y., 1981.

Illuminating Engineering Society. Lighting Design and Application. New York, N.Y.

Illuminating Engineering Society. Journal of the Illuminating Engineering Society. New York, N.Y.

Ontario Ministry of Health. Illumination Systems in Hospitals. Toronto, Ontario, 1984.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Bureau de l'efficacité énergétique

Programme
Forum Énergie Centre-Ville